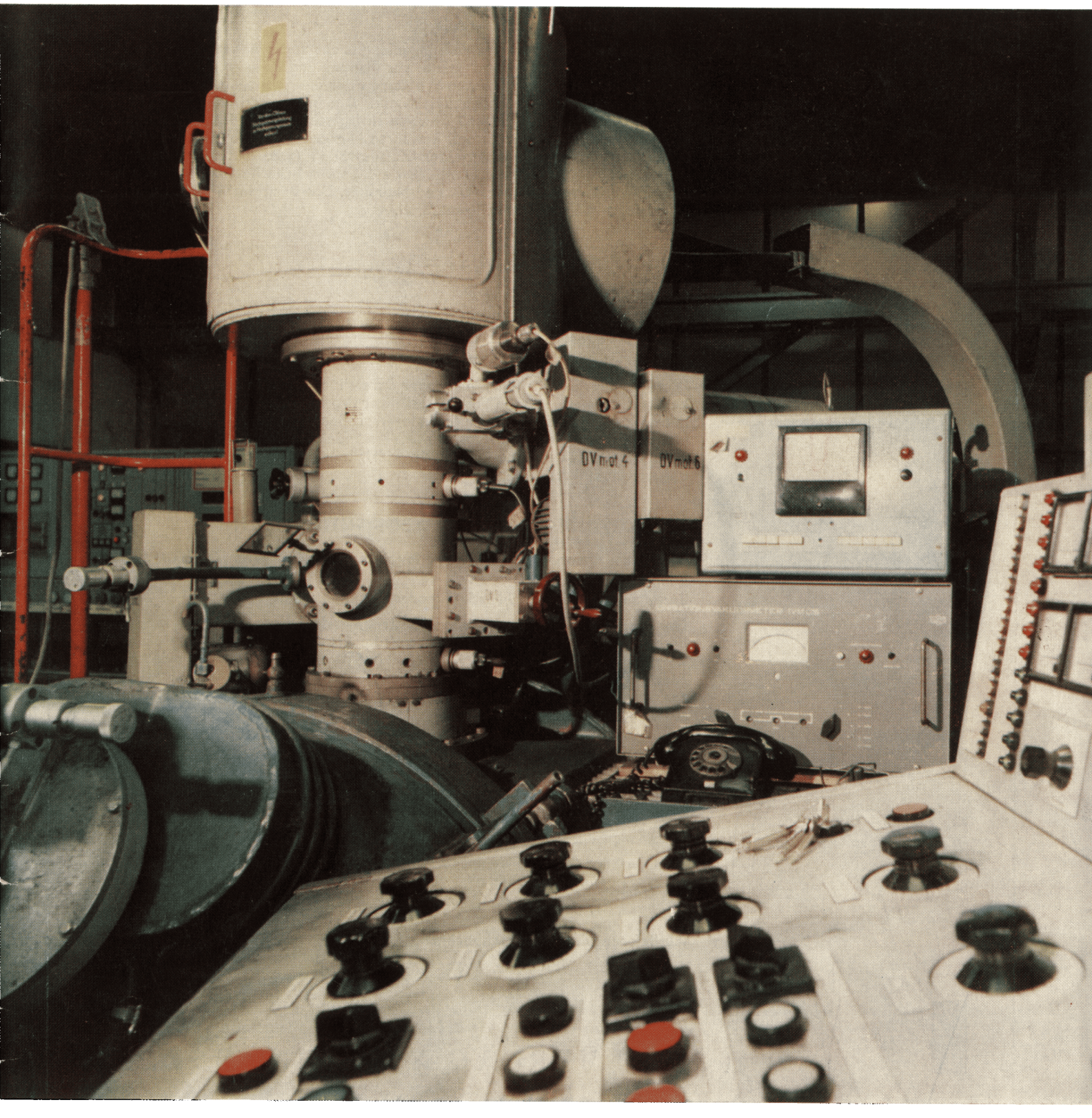
ELEKTRIE

2|84

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013–5399



LEW-Elektronenstrahltechnik – international führend

0120315

Neuerscheinungen • Neuerscheinungen • Neuerscheinungen

Statistik für Elektrotechniker

Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik

Von Dr. sc. techn. Wolfgang Hauschild und Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Mosch. Etwa 270 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln, Leinen, 28,—M, Ausland 40,—M.

Bestellangaben: 5532086/Hauschild, Statistik

Das Buch verknüpft in einer dem Ingenieur leicht zugänglichen Weise die Methoden der mathematischen Statistik zur Planung und Auswertung von Experimenten mit den fachspezifischen Problemen der energetischen Elektrotechnik, insbesondere der Hochspannungstechnik. Die mathematischen Grundlagen werden ohne Ableitungen und Beweise in logischer Folge dargestellt und an zahlreichen Beispielen erläutert. Bewährte Methoden zur Ermittlung der Verteilungsfunktionen interessierender Zufallsgrößen (z. B. Durchschlagspannungen), standardisierte Prüfverfahren sowie die statistische Beschreibung des Isoliervermögens werden erläutert und beurteilt. Das Buch enthält auch umfangreiches Bild-, Tafel- und Quellenmaterial.

Stochastische Systeme

Grundlagen

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Wunsch und Dr. sc. techn. Helmut Schreiber. Etwa 180 Seiten, 109 Bilder, Leinen, 13,—M, Ausland 25,—M.

Bestellangaben: 5533257/Wunsch, Stochast. Systeme

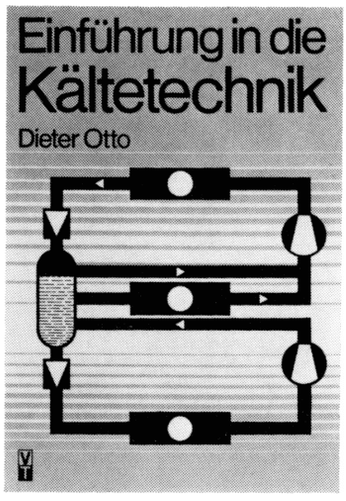
Diese Neuerscheinung führt in knapper Darstellungsweise in die Wahrscheinlichkeitsrechnung ein, legt die Theorie zufälliger Prozesse dar und wendet sie auf die Informationstechnik an. Die Autoren legen großen Wert auf Anschaulichkeit und fördern durch Querverbindungen das Verständnis. In den zahlreichen Übungsaufgaben mit den verschiedensten Schwierigkeitsgraden wird der Stoff vertieft und weitergeführt.

Rationelle Fertigungsorganisation

Von einem Autorenkollektiv. Reihe Betriebspraxis. 108 Seiten, 30 Bilder, 22 Tafeln, Broschur, 11,—M.

Bestellangaben: 5531649/Fertigungsorganisation

Der Prozeß der Planung, Lenkung, Kontrolle und Abrechnung in den Industriebetrieben wird stark beeinflußt durch die Primärorganisation. Die dringend zweckmäßige Gestaltung der Primärdokumente und vor allem der technischen Auftragsbelege ist das Anliegen der Broschüre. Geboten werden praktikable, realisierte und zukunftsorientierte Lösungen, die sinnvoll die gesetzlichen Bestimmungen ergänzen.



Einführung in die Kältetechnik

Von Dr.-Ing. Dieter Otto. 196 Seiten, 175 Bilder, 32 Tafeln, 2 Beilagen, Pappband, 20,—M, Ausland 28,—M.

Bestellangaben: 5531841/Otto, Kältetechnik

Ein Überblick über das Gebiet der Kälteerzeugung und -anwendung sowie über die Wärmepumpentechnik.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

2|84 ELEKTRIE

38. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Plakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Prof. Dr.-Ing. e. h. Dipl.-Ing. J. Stanek · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Dipl.-Ing. H. Wolf

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden · Dipl.-Ing. W. Knuth, Berlin

Titelbild

In der DDR wurde auf der Basis von Grundlagenforschungen des Instituts Manfred von Ardenne Dresden durch das Kombinat VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" Hennigsdorf eine Serie von Elektronenstrahl-Mehrkammeröfen der Leistungsreihe EMO mit Leistungen von 60, 200, 250 und 1200 kW entwickelt, gefertigt und zum Einsatz gebracht. LEW-Elektronenstrahlanlagen zum Schmelzen und zum Bedampfen werden in der UdSSR, der ČSSR, in der VR Polen, der VR China, der SR Rumänien, in Indien und in der DDR für Forschungsaufgaben und zur Großproduktion genutzt.
Teile für Elektronenstrahlanlagen zum Schmelzen und Bedampfen sowie Lizenzen zur Anwendung von Verfahren der DDR-Elektronenstrahltechnologie bewähren sich außerdem in den USA, in Japan u. a. Ländern.
Weitere Einzelheiten dazu finden Sie in der Messevorschau des Kombinats LEW auf S. 72 bis 74.
Unser Bild zeigt die Teilansicht eines LEW-Elektronenstrahl-Mehrkammerofens EMO 250 (250 kW Leistung) in der Elektronikindustrie.
Foto: Werkfoto

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Aus dem Inhalt

Seite

Aktuelle Information 42

Grande, U.

Angewandte Mikroelektronik in der Elektroindustrie und im Maschinenbau der DDR 43

Persönliches 44

Fachaufsätze

Kriesel, W.

Stand und Tendenzen des Einsatzes der Mikrorechentechnik in Automatisierungsanlagen 45

Nikoloff, I.; Schiewer, M.; Bielicke, H.

Strom- und Spannungsverhältnisse bei räumlich integrierten Anordnungen von diskreten Bauelementepaaren „Thyristor-Diode" und „Thyristor-Thyristor", Teil 2 und Schluß 50

Amft, D.

Zur Spannungsfestigkeit von Deckschichten auf Aluminiumdrähten 52

Rothhardt, L.

Stochastische Modellierung des Schaltlichtbogens 57

Biesenack, H.; Richter, M.; Schulze, W.

Zum Berechnen von Wicklungsfaktoren für Wechselstromwicklungen 59

Schwarz, J.; Petzold, K.; Otto, F.; Neumann, H.

Messung und Ortung von Teilentladungen an Baugruppen der SF_6-isolierten Schaltanlage GSAS 1-123 62

Umschau

Erzeugnisse der Elektroindustrie der DDR — Vorschau zur Leipziger Frühjahrsmesse 1984 66

Zeitschriften 76

Bücher 77

AKTUELLE INFORMATION

Effektive Anlagenauslastung — Grundforderung an eine zuverlässige Elektroenergiefortleitung

IX. VERBUNDNETZ-KOLLOQUIUM
Zeit: 26. bis 27. April 1984
Ort: 1080 Berlin, Unter den Linden 2 (Museum für Deutsche Geschichte)

Veranstalter: Betriebssektion der Kammer der Technik im Stammbetrieb des VE Kombinates Verbundnetze Energie

Themen
- Praktische und theoretische Aspekte zur Effektivität der Elektroenergieübertragung
- Gestaltung und Ausrüstung von Elektroenergieübertragungsanlagen
- Effektive Auslastung von Betriebsmitteln und Anlagen
- Betrieb und Diagnostik von Anlagen

Anfragen:
BS der KDT im VE Kombinat Verbundnetze Energie, Stammbetrieb
1140 Berlin
Allee der Kosmonauten 29
Tel. 547 21 83/547 22 84
G. Stegemenn, Berlin EA 1685

Automatisierte Systeme der Vorbereitung und Durchführung der Produktion Rechnergestützte Arbeit

Fachtagung
Zeit: 19. bis 20. Juni 1984
Ort: Berlin, Berliner Verlag
Veranstalter: Wissenschaftlich-technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Themenkomplexe
- Theoretische Grundlagen
- Geräte- und programmtechnische Basis
- Anwendung der rechnergestützten Arbeit in der Elektrotechnik und im Maschinenbau

Anfragen:
KDT-Präsidium, WGMA
1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115/117
Teilnahmemeldungen richten Sie bitte bis zum 15. April 1984 an obige Adresse. Das Tagungsprogramm wird Ihnen nach Drucklegung zugestellt.
H. Hoppe, Berlin EA 1694

RFT-Nachrichtenelektronik für die weltweite Kommunikation

Unter diesem Leitmotiv beteiligt sich der VEB Kombinat Nachrichtenelektronik am wissenschaftlich-technischen Veranstaltungsprogramm der Leipziger Frühjahrsmesse 1984. Experten des Kombinates halten dazu folgende Vorträge:
- Komplexe Kommunikationssysteme für die vielfältigen Belange weltweiter Kommunikation aus dem VEB Kombinat Nachrichtenelektronik
- Breites Angebot wissenschaftlich-technischer Leistungen aus dem VEB Kombinat Nachrichtenelektronik
- RFT-Lichtleitersysteme und RFT-Übertragungssysteme für die digitale Nachrichtenübertragung
- Rationalisierung und Organisation von Arbeitsprozessen durch komplexe Kommunikationssysteme aus den Kombinaten Nachrichtenelektronik und Robotron
- Anwendungstechnische Aspekte digitaler Geräte und Anlagen aus dem VEB Kombinat Nachrichtenelektronik
- RFT-Bilderkennungssysteme für die Automatisierung
- RFT-Tonstudiotechnik für Kulturbauten, Rundfunk und Fernsehen
- Datenübertragung mit digitaler Richtfunktechnik
- Funktechnik aus dem VEB Kombinat Nachrichtenelektronik
- Anwendungsbeispiele des Systems Integrierter Schaltungsanordnungen (ISA) in der Nachrichtenelektronik
- Gerätetechnische Lösungen zum Aufbau moderner Bürotechnik aus den Kombinaten Robotron und Nachrichtenelektronik
- Rechnergestützte Materialwirtschaft in Produktionsbetrieben.

Die Vorträge finden statt
- im Vortragszentrum des Leipziger Messeamtes, Halle 7, Messegelände und
- im Informationszentrum des Ausstellungskomplexes der Elektrotechnik-Elektronik-Industrie der DDR in Halle 15, Messegelände.

Interessenten wenden sich bitte unter Angabe des Sachwortes „*Vortragsprogramm Leipziger Frühjahrsmesse 1984*"
an den VEB Kombinat Nachrichtenelektronik, Abt. Werbung und Öffentlichkeitsarbeit, DDR-7010 Leipzig, Hainstraße 17/19
Die Redaktion EA 1677

10. Tage der Wissenschaft und Technik

Zeit: 16. bis 25. Oktober 1984
Ort: Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt

Die Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt führt die Veranstaltungsreihe „Tage der Wissenschaft und Technik" zum zehnten Male durch. Den thematischen Schwerpunkt dieses wissenschaftlichen Höhepunktes der zweitgrößten technischen Bildungseinrichtung der DDR bilden Problemstellungen aus dem Bereich der Leichtindustrie, insbesondere die entscheidende Rolle industrieller Automatisierungsmittel bei der erfolgreichen Durchsetzung der vom X. Parteitag der SED beschlossenen „Ökonomischen Strategie der achtziger Jahre".

Wissenschaftliches Programm

Eröffnungsveranstaltung (16. 10. 1984)
- Feierliche Eröffnung der „10. Tage der Wissenschaft und Technik"
- Festvortrag des Ministers für Leichtindustrie zu den aktuellen Aufgaben der Wissenschaftler bei der Durchsetzung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, insbesondere der Entwicklung und des Einsatzes modernster Automatisierungsmittel in diesem Industriezweig

Organisatorische Vorbereitung:
Abteilung Zentrale Veranstaltungen
Tel. 5 61 43 61/43 58

Fachtagung Technologie und Automatisierung in der Leichtindustrie (16. 10. bis 18. 10. 1984)
- Ergebnisse und Einsatz der Mikroelektronik/Robotertechnik in der Textil- und Lederindustrie
- Rechnergestützte textile Erzeugnisentwicklung unter Anwendung der Polyoptimierung
- Qualitätssicherung in der Fadenherstellung
- Chemiefasertechnik; Textilveredelung; Textilreinigung
- Konstruktion von Textilmaschinen und Automatisation in der Konfektion
- Rationelle Fertigungstechnik in der Lederindustrie
- Anwendung der Mikroelektronik/Handhabetechnik/Robotertechnik
- Verallgemeinerungsfähige Automatisierung

Organisatorische Vorbereitung:
Sektion Textil- und Ledertechnik
Tel. 5 61 23 18

II. Schweißtechnische Tagung für Leichtbau, Konstruktion und Festigkeit (17. 10. bis 19. 10. 1984)
- Automatisierungsgerechte (robotergerechte) Gestaltung in der Schweißtechnik
- Festigkeit und Berechnung von automatisch geschweißten Verbindungen
- Effektive Hochleistungsschweißverfahren unter Beachtung von Material- und Energieökonomie

Organisatorische Vorbereitung:
Sektion Fertigungsprozeß und Fertigungsmittel; Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR, Halle, FA Konstruktion und Berechnung in der WS Schweißtechnik der KDT
Tel. 5 61 22 29

Fachtagung Software für automatisierte Informationssysteme (17. 10. und 18. 10. 1984)
- Architektur, Technologie der Entwicklung und Anwendung von Software für automatisierte Informationssysteme
- Integrierte Lösungen zu Systemen der automatisierten Informationsverarbeitung
- Automatisierung von Informationssystemen in Lehre, Forschung und Praxis

Organisatorische Vorbereitung:
Sektion Rechentechnik/Datenverarbeitung
Tel. 66 84 30

Fachtagung Rationalisierung in der Polygrafischen Technik — Rapo'84 (23. 10. bis 25. 10. 1984)
- Entwicklung und Anforderungen an die polygrafische Technik aus der Sicht des Maschinenbaus und der Verpackungsmittelindustrie
- Druckformherstellung und Druck
- Bediener- und wartungsarme Bedruckstoffverarbeitung
- Entwicklung der Bedruckstoffe aus Papier, Karton, Pappe
- Einsatz der Mikroelektronik/Industrierobotertechnik in der polygrafischen Technik
- EDV-gestützte Konstruktion

Organisatorische Vorbereitung:
Sektion Verarbeitungstechnik; Fachverband Holz-, Papier- Polygrafie
D. Lange, Karl-Marx-Stadt EA 1686

Leipziger Frühjahrsmesse 1984

Angewandte Mikroelektronik aus der DDR für komplexe Angebote

Von
Ernst-Ulrich Grande
Stellvertreter des Ministers
für Elektrotechnik und Elektronik

Zur Leipziger Frühjahrsmesse 1984 wird die erreichte Leistungsfähigkeit der DDR auf dem Gebiet der Herstellung und Anwendung der Mikroelektronik erneut unter Beweis gestellt.

Zuverlässige Bauelemente und Baugruppen, leistungsfähige Fertigerzeugnisse, Anlagen und Ausrüstungen und qualitativ hochwertige Konsumgüter für das Inland und den Export werden auf dem Messegelände in der Halle 15 den internationalen Fachleuten und Einkäufern vorgestellt.

Auf der Grundlage der Beschlüsse der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands wird in der DDR intensiv an der planmäßigen Entwicklung und Anwendung der Mikroelektronik gearbeitet. Diese Schlüsseltechnologie des wissenschaftlich-technischen Fortschritts ermöglicht in vielen Bereichen der Volkswirtschaft die Erwirtschaftung hoher ökonomischer Ergebnisse.

Mit der Entwicklung und Produktion von Halbleitermaterialien, hochproduktiven technologischen Ausrüstungen für die mikroelektronische Industrie, von Erzeugnissen der Nachrichtenelektronik und der elektronischen Datenverarbeitung, von elektronischen Konsumgütern sowie deren Anwendung in fast allen Bereichen der Volkswirtschaft werden jährlich Erzeugnisse im Werte von vielen Milliarden Mark geschaffen.

Ein hoher Anteil dieser Produktion ist für den Export in das sozialistische und nichtsozialistische Wirtschaftsgebiet bestimmt. Mit überdurchschnittlichen Steigerungsraten in der Entwicklung und Produktion von aktiven, passiven und hybriden elektronischen Bauelementen wurde das verfügbare Bauelementesortiment ständig erweitert und eine solide Basis für die breite Anwendung der Mikroelektronik geschaffen. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die enge wissenschaftlich-technische und ökonomische Zusammenarbeit mit der UdSSR.

Im Rahmen von Regierungsabkommen werden gemeinsam modernste Basistechnologien, neue hochintegrierte Bauelemente und Mikroprozessoren, technologische Spezialausrüstungen und Werkstoffe für die Mikro- und Optoelektronik entwickelt.

Die Anwendung der Mikroelektronik wird in der Ausstellung in zusammenhängenden Komplexen demonstriert.

Ein umfangreiches Angebot von Rationalisierungsmitteln für die Intensivierung von der technischen Vorbereitung bis zur bedienarmen flexiblen Automatisierung wird vorgestellt. Rechnergestützte Arbeitsplätze für Konstrukteure und Technologen und ein rechnergestütztes Entwurfs- und Produktionssystem für rotationssymmetrische Teile unterstreichen die hohen ökonomischen Effekte bei der Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung für diese Aufgaben. Freiprogrammierbare Steuerungen für Gelenkroboter und CNC-Werkzeugmaschinen, Leitrechner zur komplexen Automatisierung von Fertigungsabschnitten und prozeßflexible Industrieroboter mit CCD-Zeilenkameras für die Objekterkennung ergänzen das Angebot für effektive Automatisierungslösungen.

In einem weiteren Abschnitt der Ausstellung werden schwerpunktmäßig Automatisierungslösungen für die Erdölförderung, Kraft- und Zementwerke, Feinstahl-Walzstraßen, Tagebau-Großfördergeräte an inländischen und internationalen Projekten mit simulierter Funktionsvorführung gezeigt. Im Blickfeld stehen weiterhin die mikrorechnergestützte Prozeßführung für die Elektroenergieversorgung von öffentlichen Netzen, in Industriebetrieben und für das Verkehrswesen sowie leistungselektronische Antriebstechnik mit geringem Energieverbrauch.

Im Komplex „Hohe Sicherheit und Leistungsfähigkeit durch Automatisierung im Transport und Verkehr" werden die Möglichkeiten des Einsatzes der Mikroelektronik in der Betriebs- und Sicherungstechnik für Eisenbahnstrecken und Bahnhöfe, der Kommunikation zwischen Fahrdienstleitung und Triebfahrzeug mit Hilfe von Zugfunksystemen und Verkehrssteuerungsanlagen für Lichtsignalanlagen mit Mikrorechnern dokumentiert.

Die Fortschritte der Mikroelektronik im Dienste der Gesundheit werden im Bereich Medizin- und Labortechnik unterstrichen. Verschiedene Geräte der Herz- und Kreislauf-Diagnose und Therapie, der Enzephalografie, der Gynäkologie und Urologie, der röntgenologischen und radiologischen Diagnostik, Hörgeräte und verschiedene medizinische Meßgeräte verdeutlichen neue Möglichkeiten der medizinischen Betreuung.

Für die Rationalisierung im Büro und die Senkung des Verwaltungsaufwandes werden Arbeitsplätze für die Materialwirtschaft in Produktionsbetrieben, für die Arbeitskräfterechnung, die Fakturierung und die Tagesumsatzermittlung gezeigt. Die zweckmäßige Verwendung von Bürocomputern, der Einsatz effektiver Schreibtechnik und von Kopiergeräten sowie die Nutzung von Bildschirmterminals, Textverarbeitungssystemen und digitalen Vermittlungsanlagen werden für die verschiedensten Anwendungszwecke in Funktion demonstriert.

Moderne Kommunikationstechnik für öffentliche Dienste wird dem Besucher an Hand von Einrichtungen und Anlagen der Landtelefonie mit digitaler Vermittlungszentrale, der Datenverarbeitung mit digitaler Richtfunktechnik, durch Funksysteme mit Sende- und Empfangsanlagen sowie einem Lichtleiterübertragungssystem vorgeführt.

Ein Funkerarbeitsplatz, ein Fahrkartenschalter mit einem Reservierungsterminal und Fahrkartenautomat sowie ein Tonstudio ergänzen das Angebot für dieses Anwendungsgebiet.

Das hohe Tempo in der Entwicklung und Anwendung der Mikroelektronik verlangt eine sehr intensive Zusammenarbeit der Industrie-Kombinate mit den Forschungseinrichtungen der Akademie der Wissenschaften und den Universitäten und Hochschulen der DDR. Von besonderer Wichtigkeit sind hier die hochproduktiven Ausrüstungen für die Halbleiterindustrie, die vom Kombinat Mikroelektronik und vom Kombinat Carl Zeiss JENA vorgestellt werden.

Fortsetzung auf Seite 44

Prof. (em.) Dipl.-Ing. Fritz Schultheiß 75 Jahre

Am 28. Februar 1984 vollendet Prof. (em.) Dipl.-Ing. Fritz Schultheiß sein 75. Lebensjahr.
Für seine zahlreichen, ehemaligen Schüler, die heute vielfach an leitenden Positionen in der Elektroenergietechnik oder als Wissenschaftler in Forschung und Lehre wirken und für seine früheren Fachkollegen ist dies Anlaß, ihm die herzlichsten Glückwünsche auszusprechen. Die Redaktion schließt sich diesen Glückwünschen an.

Prof. *Schultheiß* ist durch seine wissenschaftlichen Arbeiten zur Bemessung und Gestaltung von Mittel- und Hochspannungsschaltanlagen bekannt geworden[1]), wobei er sich besonders mit den thermischen und dynamischen Strombeanspruchungen befaßte. Sein Interesse galt ferner der Erdungstechnik, deren Problematik in regelmäßigen, von ihm initiierten Erdungstagungen im Rahmen der Kammer der Technik behandelt wurde und wird. Unter seiner redaktionellen Leitung entstand das Handbuch für Hochstromtechnik. Seine Schüler erinnern sich dankbar an seine durch reiche Erfahrungen aus seiner vieljährigen Berufstätigkeit als Projektierungsingenieur lebendig und praxisnah gestalteten Vorlesungen über Elektroenergieanlagen und seine vielfältigen Anregungen, die er seinen Diplomanden und Doktoranden gab.
Wir wünschen ihm fernerhin Gesundheit und viel Freude für sein weiteres Leben, das er immer interessant und anregend, dabei vielen befreundeten Menschen helfend, zu gestalten weiß.

H. Koettnitz, Dresden EA 1647

[1]) Siehe auch ELEKTRIE, Berlin 28 (1974) 3, S. 128,

Im Heft 3/1984 erscheinen zwei Fachbeiträge, die von ehemaligen Schülern des Jubilars zu Ehren seines 75. Geburtstages verfaßt worden sind.

Fortsetzung von Seite 43

Die weitere Verbreiterung der Anwendung der Mikroelektronik und der Erschließung neuer Anwendungsgebiete in der Industrie ist unmittelbar abhängig von einem leistungsfähigen Sortiment aktiver, passiver und hybrider mikroelektronischer Bauelemente. Die vorhandene breite Basis für die Herstellung mikroelektronischer Bauelemente in der DDR, die Verfügbarkeit wichtiger Halbleitermaterialien und entscheidender hochproduktiver technologischer Ausrüstungen wird in einem weiteren Abschnitt der Ausstellung an Hand des technologischen Prozesses vom Silizium bis zum fertigen Bauelement dokumentiert.
Für die vielfältigen Bedürfnisse der Anwender der Mikroelektronik wird durch die bauelementeherstellende Industrie ein breites Sortiment elektronischer Bauelemente aus eigener Produktion zur Verfügung gestellt.
Das betrifft u.a. das leistungsfähige 8-bit Mikroprozessorsystem U 880, mit dem auf den verschiedensten Anwendungsgebieten hohe ökonomische Effekte erzielt werden, einen 8-bit-Einchip-Mikrorechner, Halbleiterspeicher bis 16 k bit, Standard TTL und Low power-Schottky-TTL sowie CMOS-Baureihen, Operationsverstärker und Analog-Schaltkreise für die Unterhaltungselektronik.
Ein breites Sortiment optoelektronischer Anzeige-Bauelemente, Optokoppler und CCD-Zeilen sowie leistungselektronischer Bauelemente ergänzen das Sortiment. Für die Anwendung in der Nachrichtenelektronik, bei numerischen Steuerungen und in der Meßgeräteindustrie werden neue Hybridbauelemente in angepaßten Ausführungen gezeigt. Weitere Applikationsbeispiele ergänzen das Angebot der Bauelementeindustrie. In größerem Umfang bieten die Kombinate der Elektroindustrie Lizenzen, Patente und Know how zum Kauf an.
Das betrifft das technologische know-how zur Herstellung von Bauelementen der Mikroelektronik, Produktionslizenzen für technologische Spezialausrüstungen, erprobte software, in der Praxis bewährte Bauelementeapplikationen und Ausbildungsleistungen und Qualifizierung für die Beherrschung technologischer Prozesse zur Herstellung mikroelektronischer Bauelemente. Aber auch zu den in den Anwenderkomplexen genannten Geräten und Ausrüstungen liegt die Bereitschaft vor, Produktionslizenzen sowie technologisches Know how und Nutzungsrechte an Patenten auf vertraglicher Grundlage zu vergeben.
Die Ausstellung neuester Ergebnisse der Entwicklung und Anwendung der Mikroelektronik in der DDR wird ergänzt durch ein umfangreiches Vortragsprogramm, in dem spezifische Erfahrungen und Ergebnisse in der Forschung, Entwicklung und Produktion von mikroelektronischen Erzeugnissen, Ausrüstungen und Anlagen vorgestellt werden.
Das betrifft im einzelnen

- moderne elektronische Bauelemente der DDR — Basis für moderne Gerätekonzepte (15 Vorträge)
- elektronische Datenverarbeitung für Rationalisierung und Automatisierung (9 Vorträge)
- Nachrichtenelektronik im Einsatz für Automatisierungsaufgaben der Volkswirtschaft (12 Vorträge)
- Beitrag des wissenschaftlichen Gerätebaus für Automatisierungsaufgaben (6 Vorträge)
- Applikation Mikroelektronik in der Automatisierungstechnik (21 Vorträge)
- Ergebnisse der Rationalisierung und Automatisierung in Betrieben (8 Vorträge).

Die Exportfähigkeit der Elektroindustrie der DDR einschließlich der Anwendung der Mikroelektronik findet ihren Ausdruck nicht nur in den Ausstellungskomplexen der Halle 15, sondern auch in weiteren Ausstellungskomplexen sowohl auf dem Messegelände als auch in den Messehäusern der Innenstadt. Besondere Anstrengungen wurden unternommen, um das Angebot elektrotechnischer, elektronischer und fotooptischer Konsumgüter zu erweitern, bestehende Sortimente technisch zu verbessern und die Mikroelektronik anzuwenden.
Das betrifft u.a. Rühr- und Mixgeräte, Staubsauger mit elektronischer Saugkraftregulierung von 400 bis 1000 Watt, Luftduschen, Grillgeräte sowie Erzeugnisse für die Haar- und Wäschepflege.
Bei elektronischen Konsumgütern werden neue Farbfernsehgeräte und Stereo-Kassetten-Recorder, Hi-Fi-Anlagen und RFT-Phono-Geräte im Vordergrund der Ausstellung stehen.
Zusammenfassend kann man schon heute sagen, daß die Leipziger Frühjahrsmesse 1984 die politische Stabilität, die ökonomische Dynamik und die Leistungsfähigkeit der Industrie der DDR überzeugend dokumentieren wird. Die über 450000 Werktätigen des Industriebereiches Elektrotechnik und Elektronik werden dazu ihren Beitrag leisten. EA 1672

Stand und Tendenzen des Einsatzes der Mikrorechentechnik in Automatisierungsanlagen

TWR

W. Kriesel, KDT, Leipzig

Die neuartige Generation von Automatisierungsanlagen auf der Basis von Mikrorechnern wurde international seit 1976 mit zunehmendem Erfolg eingeführt, beginnend in der chemischen Industrie und nachfolgend in weiteren Industriezweigen einschließlich der Kraftwerkstechnik. Heute ist zu konstatieren, daß diese erste Generation mit Mikrorechnern international ihre „Probe aufs Exempel" gut überstanden hat, so daß ihre Breitenanwendung in den 80er Jahren voraussehbar ist.

Im vorliegenden Beitrag wird der Stand dieser Technik hinsichtlich möglicher Ansätze zu künftigen Weiterentwicklungen dargestellt.

1. Problemorientierung

Mit der neuen Generation von Automatisierungsanlagen auf Mikrorechnerbasis geht ein qualitativ erweiterter Umfang von möglichen Automatisierungsfunktionen einher, die u.a. Diagnosefunktionen, das automatische An- und Abfahren (z.B. von Gasturbinen) die automatische Prozeßsicherung sowie weitere Funktionen umfassen, die hierarchisch strukturiert sind und auf die hier jedoch nicht näher eingegangen wird, vgl. [1].

Bereits heute ist absehbar, daß diese Generation unter dem starken Einfluß der anhaltenden Mikroelektronikentwicklung weitere Veränderungen erfahren wird. Alle Prognosen zur Mikroelektronik sagen übereinstimmend aus, daß *die 80er Jahre noch keine Sättigung in der Mikroelektronik-Entwicklung bringen* werden, so daß einerseits das Entwicklungstempo nahezu ungebrochen anhält und als Folge andererseits weitere qualitative Sprünge hervorgebracht werden. Für die Automatisierungstechnik dürften dabei insbesondere Einchip-Mikrorechner mit integrierter Prozeßperipherie bzw. Signalprozessoren, Sensoren, Aktuatoren (auch für Stoffströme) sowie neuartige Anzeigetechniken von besonderem Interesse sein. Hieran darf man folgende zwei Thesen anknüpfen:

— Für den weiteren Fortschritt bei Automatisierungsanlagen spielen in absehbarer Zukunft die weiteren Entwicklungen der Mikro- und Optoelektronik eine so bedeutende Rolle, daß man sie mindestens gleichrangig mit den technologischen Veränderungen (z.B. Übergang von Kohle- zu Kernkraftwerken) kalkulieren muß.

— Die technologische Anlage determiniert letzten Endes auch zukünftig die Automatisierungsanlagen, wenngleich hieraus allein noch keine hinreichenden handlungsstimulierenden Konsequenzen für die Gestaltung von Automatisierungsmitteln ableitbar sind.

Nachfolgende Darstellungen beziehen bestimmte Aspekte der Kraftwerksautomatisierung mit ein, sind aber nicht ausschließlich hierauf beschränkt, weil es auch zukünftig in der DDR wohl kein Automatisierungssystem geben dürfte, das ausschließlich für die Kraftwerkstechnik bestimmt ist, sondern im allgemeinen universeller ausgelegt wird und somit auch in größere Entwicklungslinien eingebettet bleibt.

2. Stand der Technik bei Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern

Bei allen Automatisierungsanlagen lassen sich aus Steuerungssicht sechs Grundfunktionen im Informationsfluß unterscheiden [2], die insbesondere auch beim Generationswechsel invariant bleiben, so daß man auf dieser Basis typische Merkmale dieser Techniken behandeln kann. Die meisten Automatisierungssysteme der ersten Generation mit Mikrorechnern weisen folgende Merkmale mit unterschiedlicher Ausprägung auf:

— Informationsverarbeitung digital mit Mikroprozessoren und Halbleiterspeichern; mehrkanalige Betriebsweise der Basissteuereinheiten (Abtastsysteme mit Multiplexern) zur besseren Auslastung der relativ leistungsfähigen und kostenintensiven Mikroprozeßrechner; in der Kraftwerksautomatisierung werden teilweise Mikroprozessor-Regler bevorzugt; Geräte für autonomen Einsatz (Inselbetrieb) sowie für den Aufbau hierarchischer Automatisierungsanlagen; funktionelle Hierarchien mit räumlich-zentraler und räumlich-dezentraler Rechenkapazität (verteilte Intelligenz).

— Informationsübertragung zwischen Warte und Prozeßbereich erfolgt über bitseriellen Prozeßbus als Linieninterface zwecks Verkabelungseinsparung; Übertragung mittels Koaxialkabel oder auch Lichtleitkabel (teilweise auch wählbar), vgl. [3].

— Informationseingabe und -ausgabe gegenüber dem Operateur (Leitsysteme zur Kommunikation Mensch-Automatisierungsanlage): starke Einbeziehung von Eingabetastaturen und Farb-Bildschirmen für die Ausgabe sowie unter Nutzung maschinenlesbarer Datenträger (Kassettenmagnetband u.ä.). Rechnergestützte Bildschirme erlauben starke Reduzierung der konventionellen Anzeige- und Registriertechnik sowie den Aufbau übersichtlicher Warten mit prozeßorientierten, geordneten Informationen (Anlagenschemata, Meßwertsäulen, Kurven, Einblendungen aktueller Meßwerte u.ä.).

— Informationsgewinnung und -nutzung (Meß- und Stelltechnik): ohne Änderung der bisherigen Signale (natürliche/künstliche, analoge/binäre).

In Tafel 1 ist ein Überblick zu Parameterbereichen industrieller Automatisierungsmittel auf Mikrorechnerbasis angegeben. Dieser ersten Generation haften naturgemäß Kompromisse und auch technisch-ökonomisch bedingte Widersprüche an, die zugleich Ausgangspunkte für Weiterentwicklungen bilden können. Hervorgehoben seien folgende Widersprüche:

— schwerpunktmäßige Orientierung auf die Großautomatisierung (Kostengründe)

— fehlende Systemlösungen für mittlere und kleinere Automatisierungsaufgaben (wenige MSR-Stellen)

— Mehrfachnutzung der Mikrorechner als mehrkanalige Verarbeitungseinheiten (z.B. Mehrkanalregler) und damit strukturelle Zuverlässigkeitsprobleme

— neben Busstrukturen weiterhin Sternstrukturen zur Ankopplung der Meß- und Stelleinrichtungen

— räumlich im Anlagenbereich verteilte Mikrorechner.

3. Mögliche Weiterentwicklungen

Ausgehend von den obengenannten Widersprüchen sowie von Anwenderforderungen und den Möglichkeitsfeldern der Mikro- und Optoelektronik lassen sich die möglichen Konturen künftiger Automatisierungsanlagen etwa umreißen, ohne hier Ausschließlichkeit behaupten zu wollen.

Von der Seite der Mikro- und Optoelektronik dürften folgende Einflüsse besonders nachhaltig auf die Automatisierungsmittel wirken:

— Einchip-Mikrorechner (vgl. Bild 1): Kosten- und Volumendegression um 1 bis 2 Größenordnungen gegenüber modularen Mikrorechnern [5]

— erweiterte Einchip-Mikrorechner mit EPROM sowie auf dem Chip integrierten A/D- bzw. D/A-Umsetzern und Multiplexern (sog. Signalprozessoren) [6]

— problemorientierte Sprachen für Mikrorechner und auch für Einchip-Mikrorechner (z.B. BASIC u.a.) [7]

— Lichtleiter-Übertragungssysteme für den Kurzstreckenbereich innerhalb von Automatisierungsanlagen [3]

— Sensoren und Aktuatoren unter Nutzung mikro- und optoelektronischer Effekte [8] [9]

Die fundamentalen Anwenderforderungen kann man dahingehend

Prof. Dr. sc. *Werner Kriesel*, Technische Hochschule Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

Vortrag auf der VI. Wissenschaftlichen Konferenz für Energiewirtschaft an der IH Zittau

Tafel 1. Hauptparameter industrieller Automatisierungsmittel mit Mikroprozeßrechnern MPR (industrieller Querschnitt)

Funktionen	typische Eigenschaften	Extrembereiche
1. Informationsverarbeitung		
– maximale Anzahl Regelkreise je *MPR*	8 ··· 16	Stufen: 1; 4; 8; 12; 16; 64; 80; 120; 127
– maximale Anzahl Regelkreise je Anlage	200 ··· 500	Stufen: 64; 128; 256; 512; 1500; 3072
– Meßwertlinearisierung	ja	nein
– Kaskadenregelung	intern	extern; nein
– Verhältnisregelung – Störgrößenaufschaltung	ja	vom Anwender zu programmieren; nein
– Anwenderprogrammierung	wählbare Programme	nein; freiprogrammierbar
– Abtastzeit	0,5 s	0,01; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 128; 255
– binäre Steuerung	ja	nur durch Erweiterungseinheit
2. Informationsübertragung		
– Datenverbindung zu zentralen Leiteinrichtungen und Rechnern	Bus; bitseriell, Linie	Stern; nein
– Buslänge	3000 m	20; 1500; 3000; 4500; 4800; 6000
– *IÜ*-Geschwindigkeit	250 Kbit/s	9,6; 250; 500; 1000
– Bussteuerung	zentral	dezentral
3. Prozeßperipherie		
– analoge Eingänge	16	Stufen: 4; 8; 16; 32; 56; 64; variabel
– analoge Ausgänge	8	Stufen: 1; 4; 5; 8; 16; 64; variabel
– digitale Eingänge	16 bit	Stufen: 4; 16; 24; 32; 128; 152; 2048; beliebig, nein
– digitale Ausgänge	16 bit	Stufen: 2; 12; 16; 24; 32; 128; 152; 2048; beliebig, nein
4. Kommunikation gegenüber dem Operateur		
– Dateneingabe (Parameter, Struktur u.a.)	Tastatur	Potentiometer; inkremental
– Anzeige	Bildschirm (Farbe)	1 (2) Werte digital; analoge Parallelanzeige Bildschirm (schwarz/weiß)
– Alarmmeldung	ja	1; 2; 5 je Regelkreis; nein
– Protokollierung	Drucker	Schreiber; Bandaufzeichnung; Hardcopy; nein
– technische Einheiten	ja	nein

berücksichtigen, daß „Idealstrukturen aus Anwendersicht" entworfen werden, wie dies z.B. in [4] erfolgt ist. Danach wären Automatisierungsanlagen folgender Struktur anzustreben:

— räumlich-zentral (Konzentration in Warten- und Nebenraum)
— funktionell-dezentral auf der prozeßnahen Basisebene (einkanalig, entkoppelt)
— funktionell-zentral auf den darüberliegenden Koordinierungsebenen (gemeinsame Steuerung größerer Anlagenteile)
— Informationsübertragung minimal (reduzierter Verkabelungsaufwand sowie Störeinfluß).

Aus einer solchen „Idealstruktur für Anwender", die natürlich für jede technologische Linie etwas anders ausfällt, lassen sich einige Grundsätze für zukünftige Automatisierungseinrichtungen angeben:

— Der Informationsfluß für die automatische Regelung und Binärsteuerung zur Prozeßstabilisierung auf der Basisebene sollte auf kürzestem Wege von der Meßeinrichtung direkt zur Stelleinrichtung geführt werden, d.h. Verzicht auf Konzentration aller Informationen in der Warte, lediglich der Informationsbedarf für Leit- und Koordinierungsfunktionen ist hier zu decken.
— Die Überwachungsfunktionen sollten verstärkt bereits dezentral in den Meßeinrichtungen erfolgen, und weiterhin sollten möglichst verdichtete Informationen zur Warte bzw. direkt zur Stelleinrichtung übertragen werden.
— Die Einrichtungen zur gesamten Prozeßkoordinierung auf mehreren Funktionsebenen (Knotenpunktrechner, Wartenrechner mit Daten- und Bedienperipherie) sollten räumlich-zentral aufgestellt werden im Wartenbereich, d.h. Verzicht auf jede Anordnung von Verarbeitungselektronik als Feldstationen zwischen prozeßnaher Meß- und Stellebene einerseits sowie der Warte andererseits.

Auf dieser Basis muß weiterhin eine Systembildung sowie Unifizierung für eine nächste Generation von Automatisierungsmitteln erfolgen. Dabei sind nicht zuletzt die erweiterten Möglichkeiten und Problemkreise der Zuverlässigkeit und Instandhaltung gezielt einzubeziehen, wie sie u.a. durch technisch-ökonomisch tragbare Redundanzformen mit Funktionsbeteiligung oder durch Software-Zuverlässigkeit gegeben sind [10].

4. Skizze zukünftiger Automatisierungsanlagen

Im Unterschied zur ersten Generation sind bei einer weiteren Generation von Automatisierungsanlagen auf Mikrorechnerbasis auch gravierende Veränderungen im Bereich der Meß- und Stelltechnik zu erwarten. Insgesamt ergeben sich unter Berücksichtigung aller obengenannten Seiten folgende Hauptkomponenten für künftige Automatisierungssysteme:

— Bitserielles Feldbussystem: Direktverbindung zwischen den Meßeinrichtungen und Stelleinrichtungen einerseits sowie Verbindung zur Warte andererseits
— Intelligente Meß- und Stelleinrichtungen: Buskopplung, Überwachung, Regelung, Binärsteuerung in gewissem Umfang
— Intelligente Leittechnik einschließlich Prozeßrechentechnik auf Wartenebene für Koordinierungsfunktionen.

In Automatisierungsanlagen auf der Basis dieser Hauptkomponenten verschieben sich die Zuordnungen zwischen Verarbeitungs- und Überwachungsfunktionen auf der einen Seite und den zugehörigen gerätetechnischen Einheiten auf der anderen Seite. Ein Vergleich mit den konventionellen Automatisierungsmitteln sowie mit der ersten Generation auf Mikrorechnerbasis verdeutlicht diese Verschiebungen.

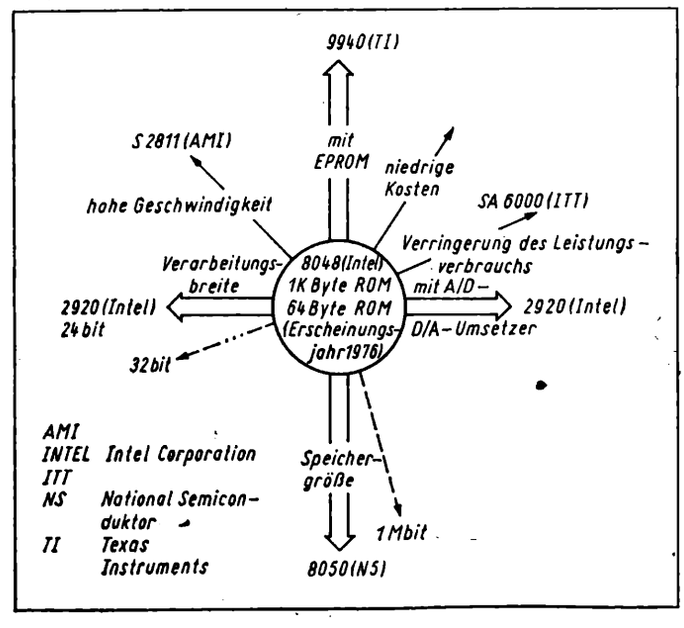
Die konventionelle Struktur (Bild 2a) weist getrennte Geräte bzw. Bausteine auf für die Vorverarbeitung (z.B. Radiziergeräte, Durchflußkorrekturrechner, Grenzwertmelder u.ä.) sowie für die Nachverarbeitung (z.B. Positioner für Stellungsregelung und Kennlinienbeeinflussung, Stellungsgeber u.ä.). Diese Lösungen bildeten den internationalen Stand der Technik vor Einführung der Mikroprozessortechnik, u.a. auch im System ursamat 4000.

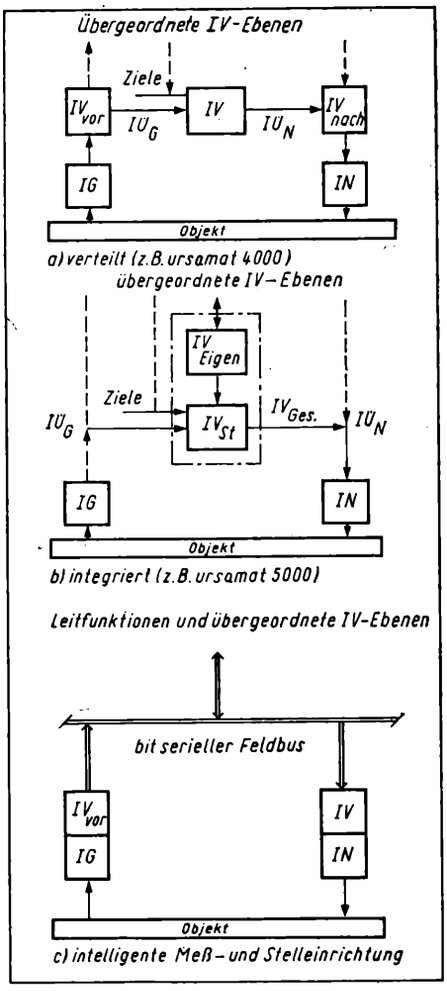
Die erste Generation mit Mikrorechnern veränderte diese Zuordnung, indem die Vor- und Nachverarbeitung durch den Mikrorechner mit übernommen wird, so daß hierfür keine gesonderten Geräte benötigt werden (Bild 2b, z.B. ursamat 5000). Gegebenenfalls können darüber hinaus zusätzliche Eigenfunktionen der Automatisierungsmittel (Selbstüberwachung, Autodiagnose) bzw. Überwachungsfunktionen gegenüber dem Automatisierungsobjekt Objektdiagnose) ausgeführt werden.

In künftigen Stukturen mit intelligenten, buskoppelbaren Meß-, Stell- und Leiteinrichtungen (Bild 2c) können darüber hinaus sogar getrennte Geräte zur Verarbeitung auf der prozeßnahen Basisebene entfallen, z.B. wären keine konstruktiv selbständigen Regler mehr erforderlich. Durch Einsatz von Einchip-Mikrorechnern und integrierten A/D- sowie D/A-Umsetzern wird die Meß-, Stell- und Leittechnik direkt buskoppelbar, so daß auf externe Analogsignale zur Übertragung zwischen prozeßnaher Ebene und Wartenbereich vollständig verzichtet werden kann.

Automatisierungsaufgaben können insbesondere für Großanlagen wie Kraftwerke, Chemieanlagen u.ä. in mehreren Hierarchieebenen projektiert werden, wobei auf jeder Funktionsebene qualitativ andere Automatisierungsfunktionen erfüllt werden [1]. Geräte- und

Bild 1. Entwicklungstendenzen bei Einchip-Mikrorechnern mit hoher Bedeutung für die Automatisierungstechnik





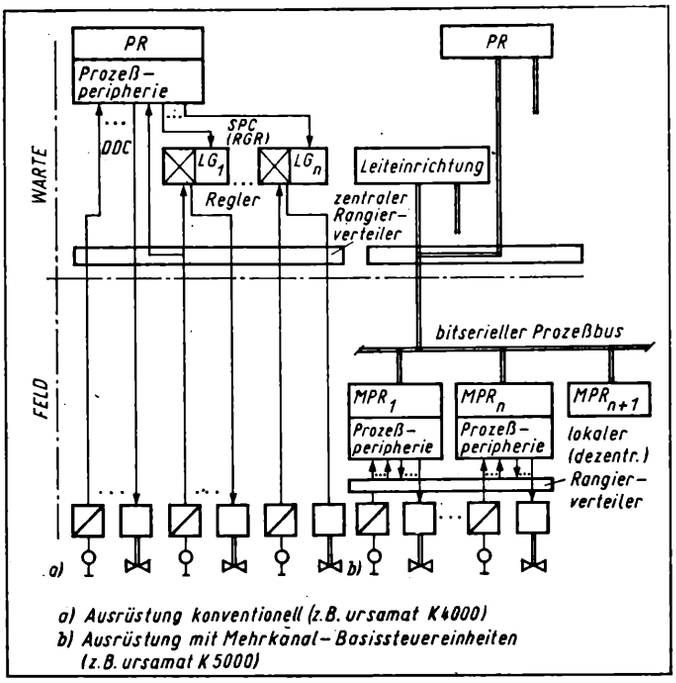


Bild 4 ▶
Struktur einer Automatisierungsanlage mit Feldbus (Variante mit drei Ebenen)

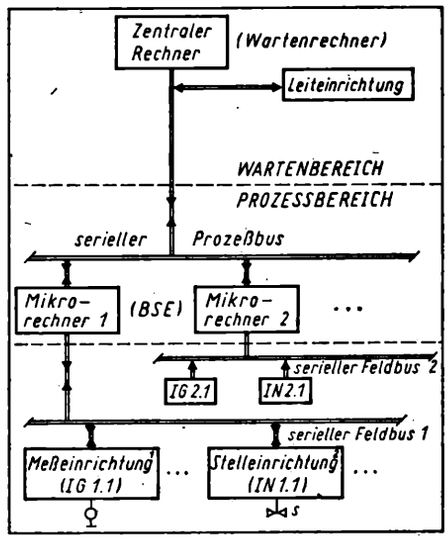


Bild 2. Zuordnung der Informationsverarbeitung und -übertragung auf der Basis- ebene zu den gerätetechnischen Einheiten
a) konventionelle Generation (z. B. ursamat 4000)
b) erste Generation mit Mikrorechnern (z. B. ursamat 5000/audatec)
c) mit intelligenter Meß-, Stell- und Leittechnik
IV Verarbeitung; *IG* Gewinnung; *IN* Nutzung; *IÜ* Übertragung von Informationen

Bild 3. Automatisierungsanlagen mit Mehrkanal-Basissteuereinheiten (Mikroprozeßrechner *MPR*) als Zwischenebene
a) Ausrüstung konventionell (z. B. ursamat K 4000)
b) Ausrüstung mit Mehrkanal-Basissteuereinheiten (z. B. Systeme ursadat 5000 und audatec)

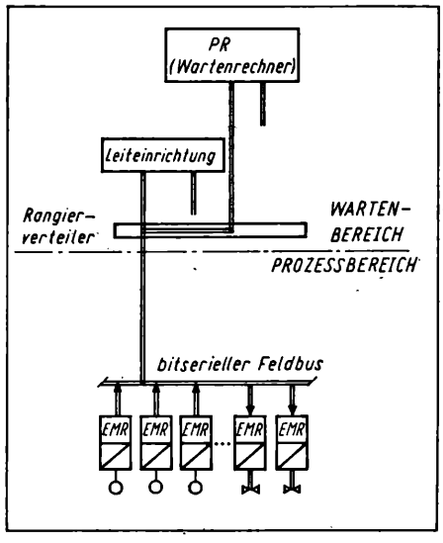


Bild 5
Struktur einer Automatisierungsanlage mit Feldbus (Variante mit zwei Ebenen) ◀

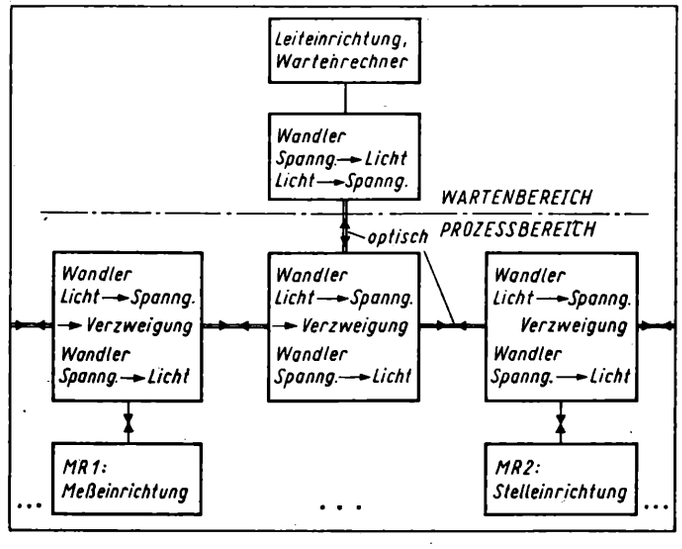
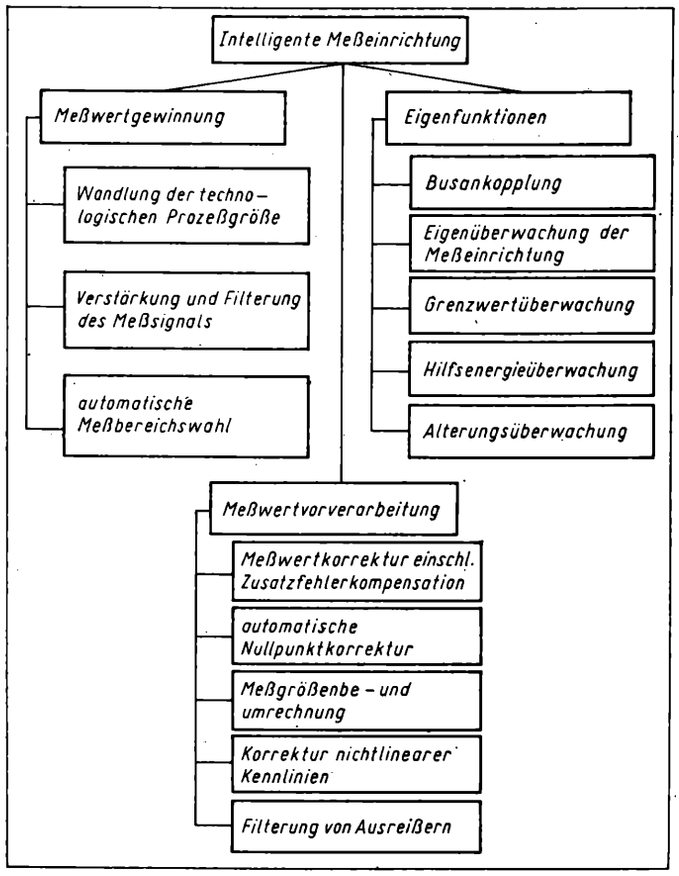


Bild 6
Lichtleiter als bitserieller Feldbus ▶



7a

Intelligente Leiteinrichtung	
Grundfunktionen	Zusatzfunktionen
– Einzel–, Gruppen– und Übersichtsdarstellung $(x, w, x_w, y_h, y_s, \cdots)$	– Busankopplung – Datenprüfung
– genaue Parametereingabe über Tastatur nebst Kontrolle durch alphanumerische Anzeige	– Eigenüberwachung der Leiteinrichtung durch Eigenüberwachungsprogramme
– softwaremäßig realisierbare Hand/Automatik–Umschaltung	– neben Alarmstatusmeldung selbständige Alarmbehandlung bzw. Klartextausgabe für Ursache, Art, Ort und Handlungsanweisungen

7c

Bild 7. Aufgaben bei intelligenten Funktionseinheiten
a) Meßeinrichtungen
b) Stelleinrichtungen
c) Leiteinrichtungen

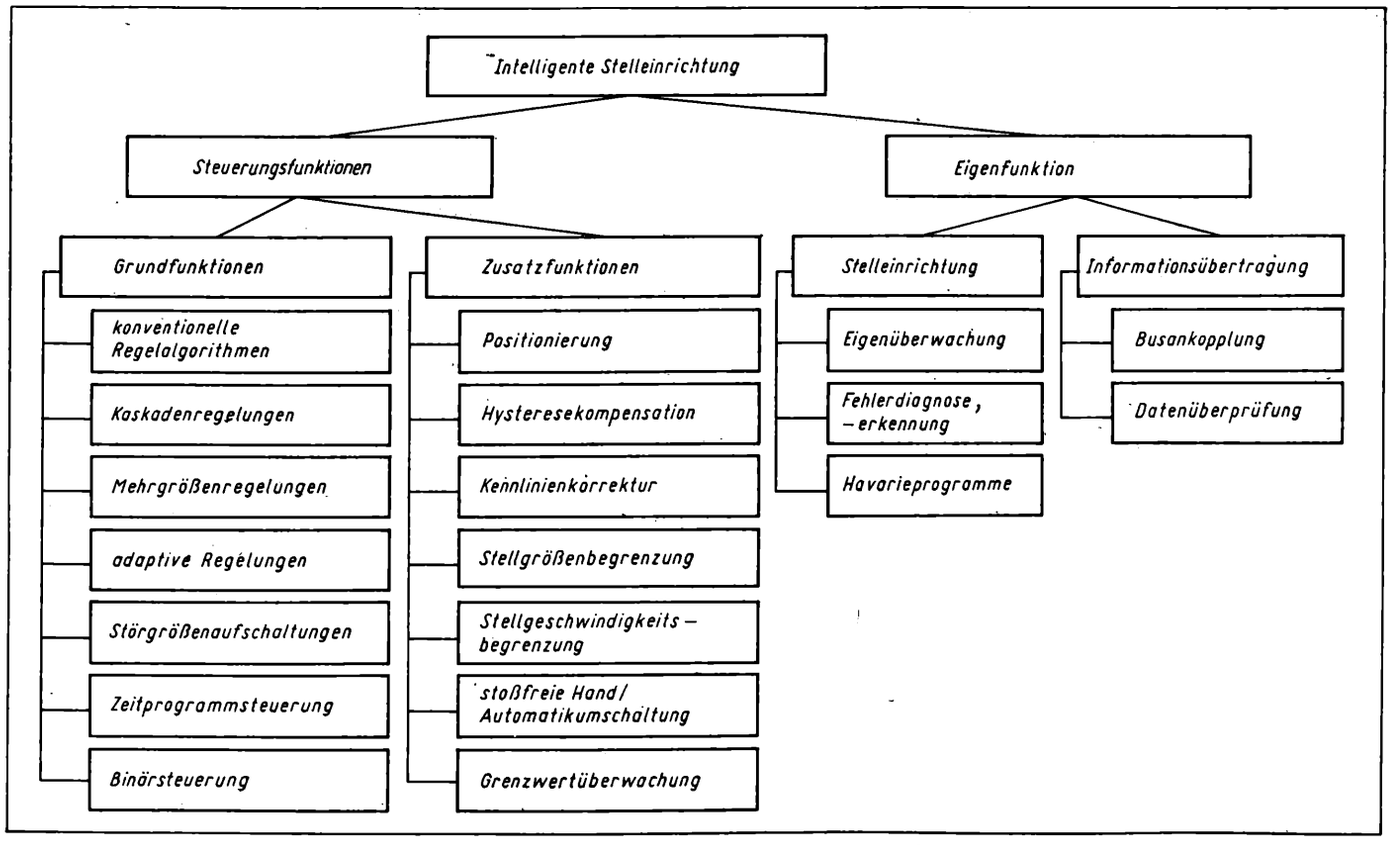
anlagentechnisch kann diese funktionelle Hierarchie zukünftig im wesentlichen durch zwei Ebenen instrumentiert werden, aufgeteilt in die beiden Raumebenen Warten- und prozeßnaher Feldbereich. Damit entfällt jede Zwischenebene, wie sie z. B. in der Generation ursamat 5000 (Neue Anlagen-Generation, vgl. Bild 3) mit den abgesetzten Basissteuereinheiten gegeben ist.

Ein erster Schritt in die Richtung dieser zukünftig zu erwartenden Automatisierungsanlagen stellt die Struktur mit Feldbus nach Bild 4 dar, die drei Ebenen enthält, wobei die mittlere Ebene auch dem Wartenbereich einschließlich Wartennebenräume zugeordnet sein kann, so daß in diesem Falle keine Zwischenebene existiert. Diese Struktur wird z. B. in der Kraftwerksautomatisierung von der Fa. BBC (Brown Boveri & Co.) mit dem System PROKONTROL/DATRAS realisiert.

Die Einführung intelligenter Meß- und Stelltechnik mit direkter Buskopplung erlaubt eine Struktur nach Bild 5. Hierbei übernehmen die Einchip-Mikrorechner EMR, die in jede Meß-, Stell- und Leiteinrichtung einbezogen sind, alle Verarbeitungsfunktionen auf der Basisebene einschließlich Vor- und Nachverarbeitung (vgl. Bild 2). In dieser Variante ist auch der Einsatz der Lichtleittechnik für den bitseriellen Feldbus als relativ effektiv einzuschätzen, deren Einsatzbreite durch den Wegfall der Analogsignale potentiell zunimmt (vgl. Bild 6).

Entscheidend für die Gestaltung der Anwendungseigenschaften einer nächsten Generation mit intelligenten Meß-, Stell- und Leiteinrichtungen dürfte neben der weitgehend bitseriellen digitalen Übertragung vor allem der qualitativ erweiterte Funktionsumfang

7b



dieser intelligenten Funktionseinheiten sein. Dabei können neben den eigentlichen Grundfunktionen des Messens, des Stellens und der Kommunikation weitere Zusatzfunktionen realisiert werden, wie dies aus den Übersichten im Bild 7 hervorgeht. Dabei wächst generell der Anteil an Verarbeitungsfunktionen in diesen Funktionseinheiten, so daß sie schließlich als „intelligent" bezeichnet wurden [11]. Diese Verarbeitung in den dezentralen Einheiten bezieht sich vorwiegend auf Standard-Algorithmen mit hohem Wiederholgrad, so daß eine Vorkonfektionierung entsprechender Software-Module erfolgen kann. Daraus ergibt sich eine Entlastung der zentralen Intelligenz (z. B. Wartenrechner) sowie der Übertragungskanäle bei gleichzeitiger Erhöhung der System-Zuverlässigkeit durch Entkopplung und relative Selbständigkeit mit funktionsbeteiligter Redundanz — die Analogien zu gewissen Steuerprinzipien im menschlichen Organismus sind offensichtlich, und sie unterstreichen, daß mit einer solchen Generation von Steuerungsmitteln wahrscheinlich ein Schritt in die richtige Richtung gegeben wird.
Bei den intelligenten Kommunikationsmitteln sind neben großen Leitstationen mit Bildschirmen und Tastaturen auch einfache digitale Einzel- und Gruppenleitgeräte für einen oder wenige Regelkreise zu erwarten, die Projektierung dieser niveaugestuften, kompatiblen Techniken innerhalb einer Warte können die Paralleldarstellung wichtiger Informationen verbessern sowie eine konsequente Zuordnung der Leittechnik zu den technologischen Einheiten ermöglichen, wie dies gerade bei der Kraftwerksautomatisierung nachdrücklich gefordert wird.

5. Schlußfolgerungen für den Generationswechsel

Die Aktualität der Fragestellung nach einem „optimalen Generationswechsel" wird durch den Widerspruch zwischen extrem hohem Entwicklungstempo in der Mikro- und Optoelektronik und dem verständlichen Wunsch der Anwender nach möglichst langer Marktperiode unterstrichen. In der Kraftwerksautomatisierung wird es heute noch als ideal angesehen, wenn für einen Investitionsstandort mit mehreren Kraftwerksblöcken nur eine einzige Geräte- und Anlagengeneration eingesetzt wird. Die einzelnen Ausbaustufen werden jedoch teilweise mit erheblicher Zeitstaffelung in Angriff genommen, so daß als Bereitstellungsdauer für Automatisierungsgeräte sogar Zeiträume bis zu 18 Jahren gefordert werden [12]. Unter den Bedingungen des dynamischen Mikroelektronikeinsatzes, wie er eingangs charakterisiert wurde, kollidiert die Verwirklichung einer solchen Forderung mit dem technischen Fortschritt.
Für den aufgezeigten Generationswechsel in Richtung intelligenter Funktionseinheiten ist eine schrittweise Industrieeinführung zu erwarten, beginnend bei niveaugestufter Leittechnik bzw. intelligenten Meßeinrichtungen [11] sowie fortgesetzt mit intelligenten Stelleinrichtungen und damit im Gesamtsystem industrieller Automatisierungsmittel. Mit einem derartig gravierenden Generationswechsel folgen technische und wirtschaftliche Verbesserungen, die sich keineswegs nur beim Hersteller, sondern auch beim Anwender niederschlagen und die gezielt auszunutzen sind:

— Senkung des Investitionsaufwandes
— Reduzierung des spezifischen Instandhaltungsaufwandes (Eigenüberwachung, automatische Diagnose u. a.)
— Verminderung des Aufwandes für Software-Pflege und Erstellung durch Übergang vom Assemblerniveau zu problemorientierten, höheren Sprachen für Mikrorechner.
— Austauschbarkeit und Modernisierung von Teilsystemen (z. B. optischer Bus an Stelle Koaxialkabel)
— Übernahme von Standardfestlegungen in die künftige Generation.

Durch den extrem starken Einfluß der Mikroelektronik-Sprünge sind die Hersteller von Automatisierungsmitteln nicht frei in der Wahl des Zeitpunktes für eine neue Generation, sondern sie müssen mit dem Zeitregime der Bauelementeindustrie und deren Leistungsfähigkeit korrespondieren. Die Forderung der Kraftwerksindustrie nach langfristiger Ausrichtung der Automatisierungsgenerationen auf den Rhythmus des Investitionsgeschehens im Energiesektor dürfte daher in der Praxis wohl ein Wunsch bleiben, obwohl kleine Zeitverschiebungen durchaus auch zukünftig realisierbar sind. Die künstliche Verlangsamung eines notwendigen Generationswechsels in der Automatisierungstechnik ist aber wegen des Querschnittscharakters dieses Zweiges potentiell sogar gefährlich, weil sie Effektivitätsverluste bei Herstellern und Anwendern bedeuten kann. Vielmehr ist ein optimaler Generationswechsel mit gravierendem Qualitätssprung in der Leistungsfähigkeit und im technologischen Niveau der Automatisierungsmittel bei Wahrung des Systemgedankens anzustreben.

Literatur

[1] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Automatisierungstechnik – Gegenwart und Zukunft. REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, Bd. 200, Berlin: VEB Verlag Technik 1982
[2] *Töpfer, H.; Kriesel, W.* (Hrsg.): Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik – elektrisch, pneumatisch, hydraulisch. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1980
[3] *Weller, W.:* Zur Anwendung der Lichtleittechnik in Automatisierungssystemen. messen · steuern · regeln, Berlin 24 (1981), 7, S. 365 – 369
[4] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Zur funktionellen und strukturellen Weiterentwicklung der Automatisierungsanlagentechnik. messen · steuern · regeln, Berlin 24 (1981) 4, S. 183 – 188
[5] Mikrocomputer auf einem Chip. Elektronikpraxis 16 (1981) 5, S. 92
[6] *Preuss, A.:* Mikroprozessoren und Halbleiterspeicher (electronica 80). Regelungstechnische Praxis 23 (1981) 4, S. 132 – 134
[7] *Schindler, M.:* Mikrocomputer bewältigen höhere Sprachen. Elektronik 30 (1981) 8, S. 11
[8] *Hofmann, D.; Richter, W.:* Stand und Perspektive der Sensortechnik. WGMA-Jahrestagung 1981 in Jena, Tagungsmaterial
[9] *Mutschler, P.:* Aktuatoren – Wandler am Ausgang der Mikroelektronik. VDI-Berichte 348 (1979), S. 113 – 124
[10] *Kriesel, W.; Töpfer, H.:* Zuverlässigkeit von Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern. Maschinenbautechnik, Berlin 30 (1981) 8, S. 357 – 361
[11] *Bretsch, J.:* Intelligente Meßsysteme zur Automatisierung technischer Prozesse, Grundlagen, Möglichkeiten, Grenzen. München: R. Oldenbourg Verlag 1979
[12] *Bennewitz, W.; Kluge, J.; Seifert, J.:* Anforderungen aus der Kraftwerksautomatisierung an Automatisierungseinrichtungen auf der Basis Mikroelektronik/Mikrorechentechnik. messen · steuern · regeln, Berlin 24 (1981) 8, S. 438 – 442
[13] *Müller, R.;* u. a.: Projektierung von Automatisierungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1982

EA 5281

Soeben erschienen im VEB Verlag Technik

Programmierung von Mikrorechnern

Programmsysteme · Parallele Prozesse · Echtzeitbetriebssysteme

Von *D. Werner*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 1. Auflage. 272 Seiten, 115 Bilder, 24 Tafeln. Kunstleder, 28,— Mark.

Bestell-Nr.: 553 1999

Zur rationellen und zeitsparenden Entwicklung von Software für Mikrorechner sind effektive Programmiermethoden unumgänglich. Das Buch will daher die theoretischen Grundlagen für die Echtzeitprogrammierung von Mikrorechnern zusammenfassen und den Leser zu ihrer Anwendung befähigen. Dabei werden sowohl der internationale Stand als auch eigene Forschungen und Entwicklungen berücksichtigt.
Nach einleitenden Bemerkungen über den Aufbau und den Einsatz von Mikroprozessorsystemen wird zunächst ein Überblick über Methoden und Mittel zur Entwicklung von Programmen für Mikrorechner gegeben. Besonderer Wert wird dabei auf eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität der Programmierer und die Problematik der Richtigkeit von Programmen gelegt. Anschließend wird an Beispielen demonstriert, daß es mit wachsender Komplexität der Aufgabenstellung in zunehmendem Maße notwendig wird, die Bearbeitung mehrerer Aufträge unter Echtzeitbedingungen zu steuern.
Dazu wird eine Einführung in die Theorie paralleler Prozesse gegeben und darauf aufbauend eine Reihe von Lösungen zur Verwaltung dieser Prozesse und zur Koordinierung ihrer Wechselwirkungen entwickelt. An zahlreichen Beispielen wird gezeigt, wie man diese Moduln als steuernden Kern in die Anwendungsprogrammsysteme von Mikrorechnern einbetten kann.
Das Buch ist für alle Programmierer und Ingenieure interessant, die bereits auf dem Gebiet der Systemsoftware arbeiten und jetzt mit komplexeren Problemen konfrontiert werden, die ein tieferes, theoretisches Eindringen erfordern. Für Studenten höherer Semester ist das Buch beim Studium und für Praktiker zu Weiterbildung nützlich.

Die Redaktion

Strom- und Spannungsverhältnisse bei räumlich integrierten Anordnungen von diskreten Bauelementepaaren „Thyristor – Diode" und „Thyristor – Thyristor". Teil 2 und Schluß[1)]

I. Nikoloff, KDT; M. Schiewer, KDT; H. Bielicke, KDT; Hennigsdorf

4. Angenäherte Berechnung der Strom- und Spannungsverläufe — Diskussion der experimentellen Ergebnisse

Die Anwendung der Gln. (1) bis (8) zur angenäherten Berechnung der Strom- und Spannungsverläufe in der RIATHYD und zur Untersuchung der Auswirkung von wichtigen Einflußfaktoren setzt die experimentelle Bestimmung der resultierenden Induktivitäten L' und L'' voraus. Die entsprechende Meßtechnik ist im Abschn. 6. erläutert. In den gemessenen Werten für L' und L'' kommen im Gegensatz zu der vereinfachten Darstellung im Ersatzschaltbild (Bild 4) die realen magnetischen Verhältnisse zum Ausdruck. Identischer konstruktiver Aufbau von Thyristor- und Diodenzelle vorausgesetzt, folgt: $L_1' = L_2' = L'$ und $L_1'' = L_2'' = L''$. Die für eine RIATHYD ermittelten Werte für L' und L'' sind im Bild 6 als Funktion vom Abstand a zwischen den Zellen gezeigt (Bild 3a). Zur Ermittlung der Strom- und Spannungsverläufe während des Zeitintervalls $(t_3 - t_2)$ sind unbedingt genaue Angaben über das Abklingen des Rückstromes erforderlich (Bild 5). Wenn möglich, sind diese Angaben meßtechnisch zu überprüfen. Die bei $a = 160$ mm berechneten Verläufe von u_D'' und u_T'' sind im Bild 7 dargestellt, während im Bild 8 die mit der im Abschn. 6. beschriebenen Meßtechnik gemessenen charakteristischen Strom- und Spannungsverläufe gezeigt sind. Dabei weist der Strom über die RIATHYD den im Bild 9 wiedergegebenen Verlauf auf. Der Übereinstimmungsgrad zwischen Rechnung und Messung ist relativ gut. Trotz des verhältnismäßig großen Abstandes von $a = 160$ mm beträgt der Ausnutzungsfaktor Z_h bei Stromsteilheiten von 100 A/µs etwa 0,93 beim A/D und 0,75 bei A/T. Die Ausbildung des Kreisstromes ist besonders deutlich am Verlauf des Diodenstromes ersichtlich. Sein Einfluß auf die Freihaltezeit ist gering. Zum Beispiel bei der RIATHYD mit einem Abstand von $a = 100$ mm (Bild 10) steigt Z_h bei geringem Kreisstrom nur auf etwa 0,95. Diese Ergebnisse widerlegen die verbreitete Meinung, daß mit einer RIATHYD keine wesentlich längeren Freihaltezeiten als bei einem induktiven Diodenrückschwingkreis (d. h. $Z_h = 0{,}5$) zu erreichen sind.

Besondere Aufmerksamkeit muß der sehr kurzen Spannungsspitze (unter 0,5 µs) am Thyristor während des Abklingens des Thyristorrückstromes gewidmet werden. Sie kann besonders bei A/T unzulässig hohe Werte erreichen. Bei A/D bewirkt der Kreisstrom eine merkliche Verminderung der Stromsteilheit am Thyristor kurz vor Abriß des Rückstromes und eine Stromvorbelastung der Diode (Bilder 8 und 10). Dabei bleibt die Spannungsspitze unter 5 V. Allgemein kann man die Spannungsspitze neben geringeren $(L' + L'')$-Werten durch ein weiches Abklingen des Thyristorrückstromes und durch eine schnelle Diode in Grenzen halten.

5. Simulation der Belastung der RIATHYD

Der typische Stromverlauf über die RIATHYD wurde mit Hilfe der im Bild 11 gezeigten Simulationsschaltung realisiert. Nach dem Zünden des Thyristors T der RIATHYD entlädt sich der Kondensator $C2$ und sichert einen Vorstrom von etwa 300 A mit einer Dauer von 800 µs (Bild 9). Mit dem nachfolgenden Zünden des Hilfsthyristors HT wird ein gedämpftes Umschwingen des Kondensators $C2$ über die RIATHYD ausgelöst. Die Thyristoren T und HT werden gleichzeitig gelöscht. Vor dem nächsten Zünden des Thyristors T werden die Kondensatoren $C1$ und $C2$ von den entsprechenden Spannungsquellen SQ_1 und SQ_2 voll aufgeladen. Durch Variation der Kapazität des Kondensators $C1$, der Induktivität der Drossel DR und der Spannung der Quelle SQ_1 können Amplitude, Steilheit und Schwingdauer des Stromes über die RIATHYD verändert werden.

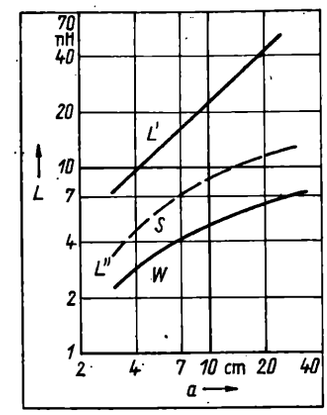


Bild 6. Experimentelle Werte für die resultierenden Induktivitäten L' und L'' einer RIATHYD
W bei waagerechter (zum Bauelement radialer), S bei senkrechter (axialer) Stromzuführung

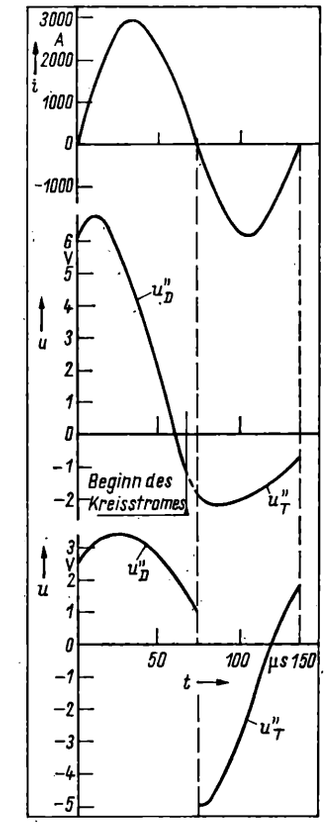


Bild 7. Auf Grundlage der gemessenen L'- und L''-Werte bei vorgegebenem Stromverlauf rechnerisch ermittelte Spannungsverläufe u_D'' und u_T'' bei einem Zellenabstand $a = 160$ mm

a) vorgegebener Stromverlauf

b) Spannungsverläufe bei A/D

c) Spannungsverläufe bei A/T

6. Meßtechnik

Die vollständige meßtechnische Untersuchung der elektrischen Verhältnisse in den integrierten Anordnungen erfordert die Erfassung der Bauelementeströme und der Spannungen an den Sperrschichtstrukturen. Der äußerst kompakte Aufbau der RIATHYD und die Forderung an die Nichtbeeinflussung der zu erfassenden Vorgänge durch die Strommeßeinrichtungen stellen besonders hohe Anforderungen an die Meßtechnik. Für die Strommessung in der RIATHYD bei der unbedingt einzuhaltenden Forderung nach unveränderten räumlichen Verhältnissen wurde ein spezieller Meßshunt entwickelt. Dieser Meßshunt wird zwischen Scheibenzelle und Kühlkörper angeordnet und beeinflußt praktisch die geometrischen Verhältnisse in der Anordnung nicht. Seine koaxialen Meßleitungen werden durch eine kleine Bohrung im Kühlkörper herausgeführt. Der ohmsche Widerstand des Shunts wurde gezielt niedrig gehalten. Erst die Anwendung dieser Einrichtung zur Strommessung hat die

Dr.-Ing. *Ivan Nikoloff* ist Gruppenleiter, Dipl.-Ing. *Manfred Schiewer* und Ing. *Heinz Bielicke* sind Entwicklungsingenieure in der Entwicklungsabteilung Triebfahrzeuge des Stammbetriebes des Kombinates VEB LEW „Hans Beimler" Hennigsdorf

[1)] Teil 1 dieses Beitrages ist erschienen in ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 1.

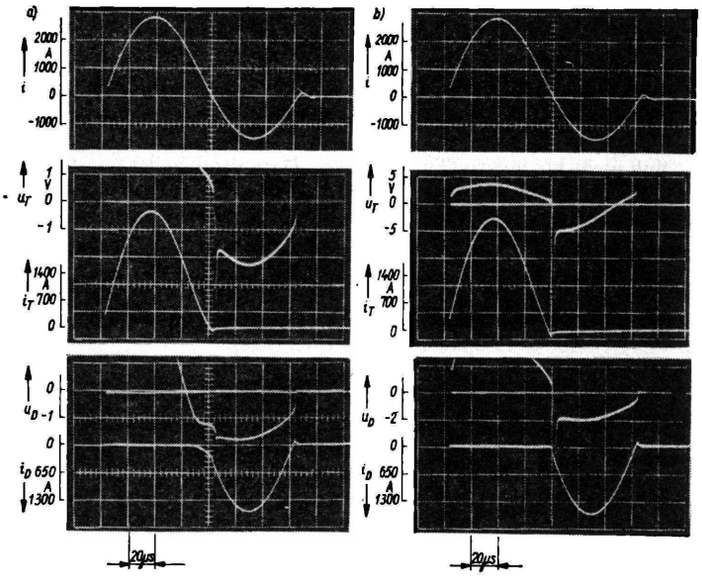


Bild 8. Gemessene Strom- und Spannungsverläufe in einer RIATHYD bei einem Abstand der Zellenachsen $a = 160$ mm
a) bei A/D
b) bei A/T

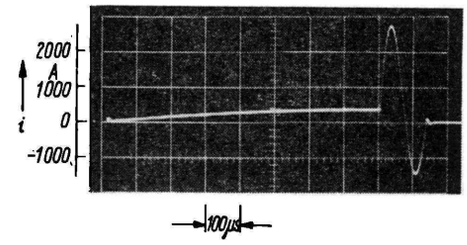


Bild 9. Verlauf des Stromes durch die RIATHYD während der Messungen

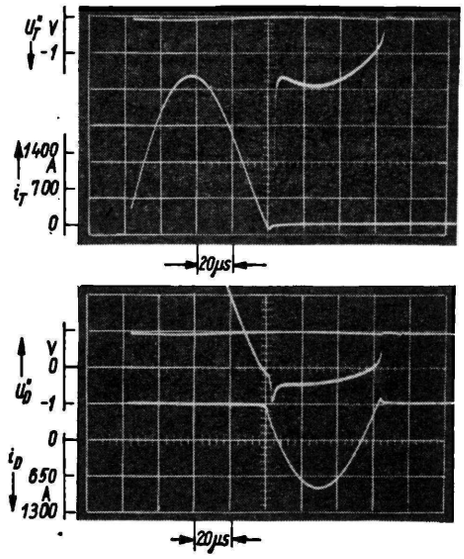


Bild 10. Strom- und Spannungsverläufe in einer RIATHYD bei $a = 100$ mm und A/D (Spannungsmessung an der Sperrschichtstruktur der geöffneten Zellen)

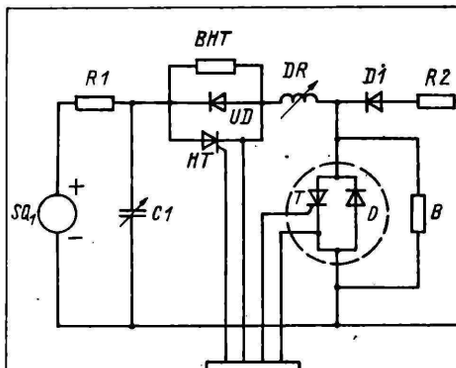


Bild 11. Simulationsschaltung zur Belastung der RIATHYD
B; BHT – TSE-Beschaltungen ▼

Bild 12. Prinzipieller Aufbau eines Spannungsmeßabgriffes

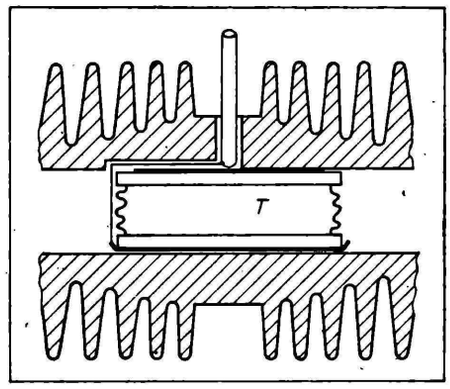
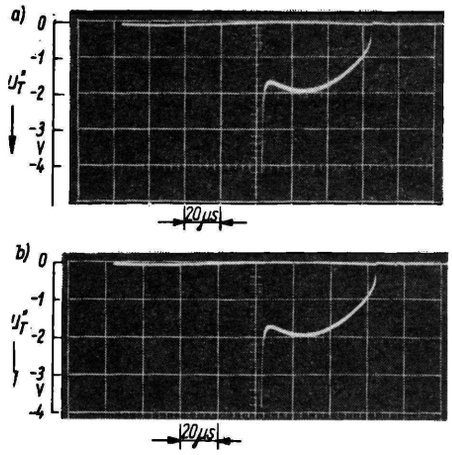


Bild 13. Kontrollmessungen der Thyristorspannung
a) an der Sperrschichtstruktur der geöffneten Zelle
b) mit Hilfe der Meßanordnung nach Bild 12



vollständige und genaue Untersuchung der Strom- und Spannungsverhältnisse in der RIATHYD ermöglicht.

Für die Messung der Spannung an der Sperrschichtstruktur wurde die im Bild 12 dargestellte Meßanordnung benutzt. Durch eine koaxial zu der Scheibenzelle dicht am Bauelement geführte Reuse wird das Spannungspotential eines Bauelementeanschlusses bis zum anderen Anschluß geleitet (Bild 3a). Von dort wird die koaxiale Meßleitung zu einem Spannungsteiler mit Begrenzung der Ausgangsspannung geführt. Der Erfassungsanordnung nach Bild 12 soll vor allem eine genaue Messung der Spannung an der Sperrschicht bei stromlosem Zustand des Bauelementes, d.h. von u_T'' bzw. u_D'' ermöglichen, wobei an erster Stelle die Thyristorspannung interessiert. Es gilt z.B. für A/D bei $t_3 \leqq t \leqq t_4$ (Bild 5) für die Spannung u_M, die zur Bewertung von u_T'' gemessen wird (Gl. (4)).

$$u_M = -(L_D - M_{MD}) \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} - R_D(i)\, i \tag{9}$$

M_{MD} Gegeninduktivität zwischen Spannungsabgriffanordnung und Diodenzweig.

Aus dem Vergleich der Gln. (9) und (4) folgt, daß $u_M = u_T''$ ist, falls $M_{MD} = M_{TD}$ ist. Diese Bedingung kann bei der Meßanordnung nach Bild 12 bei sorgfältigem Aufbau gut erfüllt werden. Das wurde durch Kontrollmessungen an geöffneten Thyristor- und Diodenzellen unmittelbar an der Sperrschichtstruktur überprüft. Der Vergleich (Bild 13) des Verlaufes von u_T'', ermittelt an der geöffneten Zelle, mit dem mittels der Spannungsabgriffsanordnung nach Bild 12 gemessenen bestätigt die hohe Genauigkeit der Messung vor allem von u_T'' und u_D''.

Für die Meßspannung u_M bei der Meßanordnung nach Bild 12 während des Stromflusses, die z.B. bei A/D ($t_0 \leqq t \leqq t_1$ (Bild 5)) u_T' entspricht, gilt angenähert

$$u_M \approx R_T(i)\, i + (L_T - M_{MT}) \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}. \tag{10}$$

Da die Gegeninduktivität M_{MT} zwischen Thyristorzelle und Meßanordnung infolge des inneren Flusses in der Zelle und des Flusses zwischen Zelle und Meßreuse kleiner als L_T ist, aber auch wegen der seitlichen unsymmetrischen (zum Spannungsmeßabgriff) Stromzuführung vom Kühlkörper zur Zelle (Bild 12) weist u_M im Gegensatz zur $u_T' = R_T(i)\, i$ eine induktive Komponente auf. Diese ist am Spannungsverlauf von u_D' und u_T' im Bild 8 feststellbar.

Fortsetzung auf Seite 52

Zur Spannungsfestigkeit von Deckschichten auf Aluminiumdrähten

D. Amft, KDT, Karl-Marx-Stadt

Deckschichten auf Leitern bestimmen ganz wesentlich die Größe des Kontaktwiderstands und damit des Spannungsabfalles an elektrischen Klemmen und Verbindungen. Die zunehmende Zahl „heißer" Schraubklemmenverbindungen erinnert an diese Tatsache. Nachdem in vorangegangenen Arbeiten [1] [2] zu mechanischen Veränderungen in der Klemme gezeigt wurde, daß das Nachlassen der Klemmenkraft während der Betriebszeit eine wesentliche Ursache für das Auftreten unzulässiger Spannungsabfälle ist, sollen nachfolgend Deckschichtbildung und -zerstörung als weitere Ursache untersucht werden. Im Vordergrund stehen dabei die hauptsächlich für die Installationstechnik verwendeten Al-Leiter, auf denen sich eine nichtleitende Al_2O_3-Schicht ausbildet.

1. Entstehung der Deckschichten, Struktur und Dicke

1.1. Allgemeines

Eine Übersicht zu den wichtigsten für eine Kontaktierung maßgeblichen Eigenschaften in der Starkstromtechnik gebräuchlicher Leiter- und Überzugsmaterialien gibt Tafel 1. Der Kontaktwiderstand und seine Charakteristik wird bei sauberen Kontaktflächen durch den spezifischen elektrischen Widerstand sowie mechanische und wärmetechnische Daten des Materials bestimmt. In Normalatmosphäre bestehen die Deckschichten hauptsächlich aus Oxiden, und in einer Industrieatmosphäre kommen vor allem Sulfide hinzu [3]. Der Kontaktwiderstand ist dann völlig verändert. Da die Deckschichten komplex strukturiert sind, wird zu seiner Berechnung meistens ein Maximalwert des spezifischen Oberflächenwiderstands $\sigma_{max} = f(\text{Material}, \vartheta, t)$ benutzt. Werte hierzu sind bei *Urbig* [4] zu finden. Sie sind jedoch nicht allgemein verwendbar, da z.B. mechanische Eigenschaften der Deckschichten kraft- und materialabhängig zur Wirkung kommen.

Doz. Dr. sc. techn. *Dietrich Amft* ist Leiter der Lehr- und Forschungsgruppe „Niederspannungsschaltgeräte" in der Sektion Automatisierungstechnik der TH Karl-Marx-Stadt

Der Verfasser dankt Herrn Dozent Dr.-Ing. *M. Hüper* für wertvolle Ratschläge und Herrn Dipl.-Ing. *B. Ullmann* für die Durchführung eines großen Teiles der Messungen.

1.2. Spezifische Eigenschaften von Deckschichten

Ergänzend zur Darstellung der am häufigsten auftretenden Verbindungen und ihrer Temperaturbeständigkeit (Tafel 1) läßt sich angeben:

- Auf Ag werden Oxidschichten um 1 nm gebildet, die den Stromfluß nicht behindern (Tunneleffekt). Durch Industrieatmosphäre und vor allem durch Gummiabdeckteile an Geräten entstehen Sulfidschichten, die gerade bei Schaltkontakten zu Störungen Anlaß geben können. Versilberte Anschlüsse in Starkstromklemmen sind wegen der hohen Kontaktkräfte nicht störanfällig.
- Auf Ni bilden sich Oxidschichten von einigen nm, die den Stromfluß nicht behindern, solange die übrigen Eigenschaften des Ni keine Rolle spielen (dünne Überzüge).
- Auf Sn werden dickere Oxid- und Sulfidschichten gebildet, die sich jedoch leicht in das weiche Grundmaterial eindrücken lassen (dickere Überzüge, jedoch Gefahr der Nichtlösbarkeit nach starker Erwärmung).
- Auf Cu bilden sich dickere und relativ fest haftende Oxid- und Sulfidschichten. Die Stromleitung wird bei Schichten von einigen nm noch nicht behindert, da nach anfänglicher Ionenleitung in der Schicht ein Wärmedurchbruch stattfindet.
- Auf Al bilden sich sehr harte [5] Oxidschichten, deren Wachstum unter Normalbedingungen bei etwa 10 nm stagniert [6]. Dickere Deckschichten entstehen bei höherer Temperatur, hoher Feuchte und vor allem bei Anwesenheit unverträglicher Metalle. Die Al_2O_3-Schicht hat Isolatoreigenschaften[1]) und kann damit den Stromfluß wesentlich behindern bzw. unmöglich machen. Einem Eindrücken in das weichere Grundmetall mittels starker Verformung in der Klemme stehen hier andere Gesichtspunkte entgegen [1].

Diese Deckschichten entstehen auf frisch gesäuberten Kontaktstellen in Zeitabschnitten, die beim Anschließen z.T. unumgänglich sind. Bild 1 zeigt dazu als Beispiel eine Angabe von *Hauffe* [6], die u.a. den Sinn des Kontaktsäuberns in Frage stellt. An anderer Stelle [7] ist ausgeführt, daß sich auf Al während der Säuberung und in den ersten Minuten danach eine Anfangs-Al_2O_3-Schicht von etwa 2 nm bildet. Auf die Bildungsgeschwindigkeit der Deckschichten nehmen außer Temperatur und Partialdruck des aggressiven Mediums, der Ausgangszustand der Metalloberflächen (Rauheit) und deren Oberflächenspezifität Einfluß. So ist es bei polykristallinem Material möglich, daß sich auf den nebeneinanderliegenden Kristallitflächen Schichtdickeunterschiede von mehr als 2 befinden [6] [8]. Damit ist auch ohne andere äußere Einflüsse die Voraussetzung für unterschiedliche Meßergebnisse gegeben. Abhängig vom Meßverfahren wird in der Regel eine schwankende mittlere Schichtdicke ermittelt, die für den Praktiker nur orientierenden Wert haben kann.

[1]) 10^{16} Ωcm; erst bei sehr hohen Temperaturen etwa 1 Ωcm; Abstand der „verbotenen Zone" etwa 5 eV; Aktivierungsenergie für Störstellenleitung etwa 2,4 eV

Fortsetzung von Seite 51

Zur meßtechnischen Bestimmung der Induktivitäten L' und L'' wurde in der RIATHYD eines der Bauelemente durch eine der Zelle entsprechende Kupferscheibe ersetzt, welche den Strom führt. An der Montagestelle des anderen Bauelementes, das nicht eingebaut wurde, wurde mit Hilfe eines über Koaxialkabel angeschlossenen symmetrischen Spannungsabgriffes die Spannung u_M, die an der Sperrschicht des entsprechenden Bauelementes entstanden wäre, bei verschiedenen Konstruktionsanordnungen bzw. Entfernungen a (Bild 3a) gemessen. Da die gesamte Anordnung gezielt mit sehr kleinen aktiven Widerständen ausgeführt wurde, ist die gemessene Spannung u_M nach den Gln.(1) und (4) weitgehend der Induktivität L' bzw. L'' proportional. Aus dieser Spannung und der gemessenen Spannung u_S an einer Normalspule mit der Induktivität L_S wurden die Induktivitäten L' bzw. L'' bestimmt, z.B.

$$L' \approx L_S \frac{u_M'}{u_S}.$$

7. Zusammenfassung

Mit Hilfe der entwickelten problemspezifischen Meßtechnik wurden für die Strom- und Spannungsverhältnisse in den räumlich integrierten Anordnungen Thyristor – Diode und Thyristor – Thyristor (RIATHYD) durch die Anwendung von mehreren alternativen Meßverfahren gesicherte Erkenntnisse gewonnen. Darauf aufbauend wurden die interessierenden Kenngrößen (vor allem die Freihaltezeit) von realen RIATHYD-Anordnungen für Luftkühlung bestimmt und theoretische Untersuchungen der wichtigsten Zusammenhänge vorgenommen. Es wurde sicher festgestellt, daß unter Beachtung bestimmter Grundsätze, insbesondere durch die Anordnung der Anschlüsse in Diodennähe und durch einen kompakten konstruktiven Aufbau die Freihaltezeit bei einer maximalen Stromsteilheit von etwa 100 A/µs nur wesentlich kleiner ist als der doppelte Wert der Freihaltezeit bei einem induktiven Rückschwingkreis. Sie liegt folglich wenig unter der Freihaltezeit beim rückwärtsleitenden Thyristor. Die Anwendung von RIATHYD ist insbesondere wegen der Freizügigkeit der Kombination von Bauelementen mit verschiedenen Kenndaten von Interesse. Sie wird durch die Entwicklung von leistungsfähigen asymmetrischen Thyristoren [3] [4][2]), zu denen gegenwärtig viele abschaltbaren (GTO) und abschaltunterstützte (GATT) Thyristoren gehören, sehr gefördert. In bestimmten Anwendungsfällen bietet die RIATHYD unter Beachtung auch der Anordnung „Thyristor-selbstzündender Thyristor" eine Übergangslösung an, bevor geeignete rückwärtsleitende Thyristoren bereitgestellt werden. Damit können Schaltungs- und Konstruktionsprinzipien langfristig festgelegt werden.

[2]) Literaturangaben: Siehe: ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 1, S. 30

EA 5269

Tafel 1. Eigenschaftswerte von Leiter- bzw. Überzugsmaterialien

Material	γ [g/cm]	λ [Ws/cm·K]	C [Ws/g·K]	ϱ [10^{-6} Ωcm]	$\alpha\varrho$ [10^{-3}/K]	σ [10^3 N/mm²]	E [10^3 N/mm²]	H_K [10^3 N/mm²]	α_l [10^{-6} K]	ϑ_ϱ [°C]	ϑ_s [°C]	U_{KS} [V]	r_s [10^3 Ws/g]	Deckschichten
Cu	8,9	3,8	0,39	1,78	3,8	400 ··· 500	120	··· 0,8	17	100 ··· 290	1083	0,45	0,18	CuS bis 220 °C Cu_2O bis 1235 °C
Al	2,7	2,2	0,92	2,86	4,0	130 ··· 170	72	··· 0,4	25	80 ··· 250	658	0,28	0,39	CuO bis 1326 °C Al_2O_3 bis 2060 °C
Ag	10,5	4,2	0,24	1,67	4,4	180 ··· 400	70	··· 0,6		150 ··· 180	960	0,35	0,10	Ag_2O bis 300 °C Ag_2S bis 850 °C
Ni	8,9	0,7	0,44	8,00	7,0	600 ··· 1200	200	1,0 ··· 2,0		370 ··· 520	1452	0,60	0,39	NiS bis 797 °C NiO bis 1390 °C
Sn	7,3	0,6	0,23	12,50	4,5	20 ··· 30	50	··· 0,05		100	232	0,15	0,005	SnS bis 600 °C SnS_2 bis 882 °C SnO bis 1080 °C SnO_2 bis 1127 °C

γ: spezif. Gewicht; λ: Wärmeleitfähigkeit; c: Wärmekapazität; ϱ: spezif. elektr. Widerstand; $\alpha\varrho$: Temperaturbeiwert des spezif. elektr. Widerstands; σ: Zugfestigkeit; E: Elastizitätsmodul; H_K: Kontakthärte; α_l: linearer Ausdehnungskoeffizient; ϑ_ϱ: Entfestigungstemperatur; ϑ_s: Schmelztemperatur; U_{KS}: Kontaktspannung beim Schmelzen; r_s: spezif. Energieaufwand beim Schmelzen

1.3. Messung an handelsüblichen Al-Drähten

Unter „handelsüblich" wird verstanden, daß es sich um übliche, vom Lager abgerufene Kabel und Leitungen handelt, deren Herstellungsdatum nicht genau bekannt war. Da es hier nur auf eine grobe Bestimmung der mittleren Schichtdicke ankam, wurde das Kondensatormeßverfahren verwendet. Dabei befindet sich der Al-Draht in einem Spezialgefäß, das mit Hg gefüllt wird. Aus den Gefäßdaten und dem gemessenen Kapazitätswert läßt sich die Fremdschichtdicke berechnen. Da die Meßwerte wegen der Eindiffusion von Hg in die Al_2O_3-Schicht nur wenige Minuten stabil bleiben, muß schnell gemessen werden. Die Drähte (1,75 bis 5,5 mm Durchmesser) wurden erst kurz vor dem Versuch vorsichtig abisoliert. Ein Teil der Proben wurde vor der Messung 3 Jahre in einem feuchten Kellerraum gelagert. Die Anzahl der Proben betrug 30 bis 50, wobei vereinzelt aufgetretene extreme Meßergebnisse ausgeschlossen wurden. Tafel 2 zeigt eine Zusammenstellung der Resultate und Bild 2 die Häufigkeitsverteilungen für Drähte mit 1,75 mm Durchmesser. Als Besonderheit wurde ein aus einer Verteilungsanlage entnommener Draht mit verschmorter Isolation untersucht. Aus den Ergebnissen folgt der praktische Hinweis, daß beim Zurückschneiden der Isolation an gelagerten Kabeln und Drähten Schichtdicken auftreten, die den von *Hauffe* [6] in einem Zeitraum 9 bis 125 Tage (nach vorausgegangener chemischer Schichtentfernung) erhaltenen, gleichgroß sind. An einem geschabten Draht (vgl. TGL 200613) wäre dieses Resultat bereits in einem kürzeren Zeitraum zu erwarten, weil die Metalloberfläche aufgerauht und thermisch aktiviert wird.

1.4. Messung in der Kontaktstelle

Zur Untersuchung der Oberflächentopografie wurde ein Elektronenstrahl-Rastermikroskop verwendet. Die Schichtdicke im Bereich der Kontaktstelle läßt sich durch Ritzen der Oberfläche einigermaßen bestimmen. Besonderes Interesse galt der Frage, ob die Schichtdicke bei gleichbleibender Kontaktkraft (Massebelastung) mit der Zeit zunimmt. Aus den bisherigen Resultaten ist zu entnehmen, daß bei einer Kontakterwärmung unter 50 K in einer gefetteten Kontaktstelle praktisch keine Zunahme auftritt. Bei längerwirkender, hoher thermischer Belastung (Stromüberlastung bzw. lockere Klemme) ergeben sich dagegen um Zehnerpotenzen dickere und in ihrer Oberflächentopografie uneinheitliche Deckschichten (vgl. Bild 3).

2. Spannungsfestigkeit der Deckschichten

2.1. Allgemeines

Die Spannungsfestigkeit ist hauptsächlich von Deckschichttyp und -dicke abhängig. Beispielsweise konnte *Dietrich* [9] in einer umfassenden Arbeit nachweisen, daß bei Sulfidschichten auf Ag

Tafel 2. Schichtdicke an handelsüblichen Al-Drähten nach unterschiedlicher Vorbereitung

Direktentnahme	s_{ox} = 2,2 bis 9,5 nm
Nach zusätzlicher (isolierter) Feuchtlagerung für 3 Jahre	s_{ox} = 6,2 bis 11,8 nm
Bei offener (abisolierter) Feuchtlagerung für 3 Jahre solange kein „Abblättern" eintritt	s_{ox} = 0,98 bis 2,0 µm
Aus thermisch hochbeanspruchter Klemmstelle	s_{ox} = 0,54 bis 3,6 µm

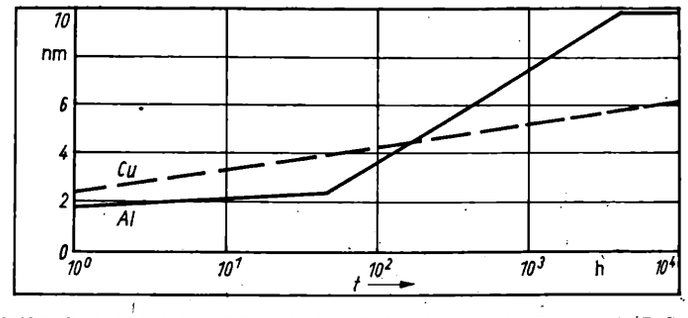
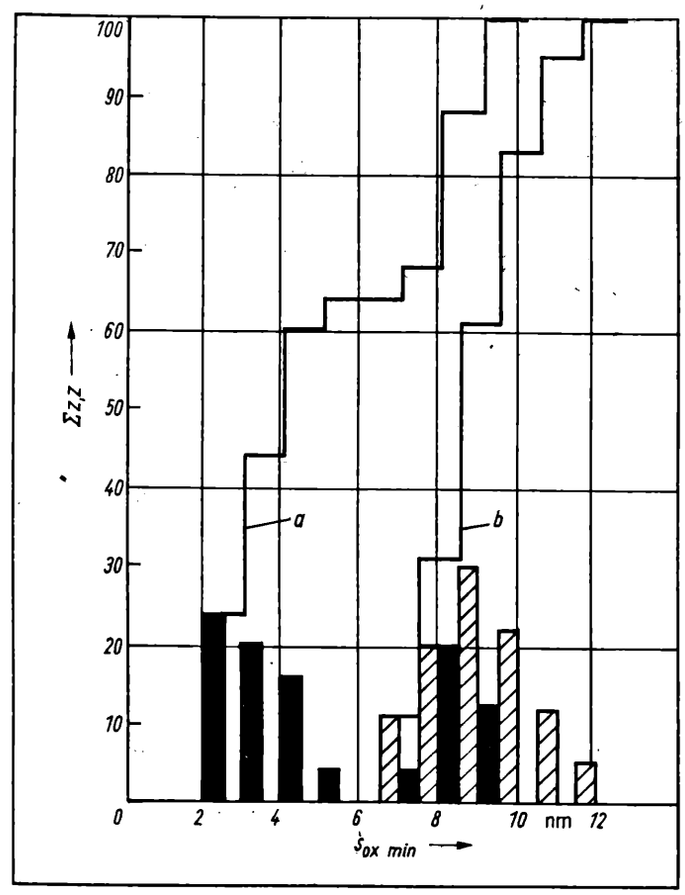


Bild 1. Oxidschichtdicke auf Cu und Al in Abhängigkeit von der Lagerung in Luft bei 20 °C (nach [6])

Bild 2. Einzelwerte und Summenkurve für die minimale Schichtdicke auf handelsüblichen Aluminiumdrähten
a) bei Direktentnahme (ausgefüllte Fläche)
b) bei zusätzlicher Lagerung (gestrichelte Fläche, vgl. Text)



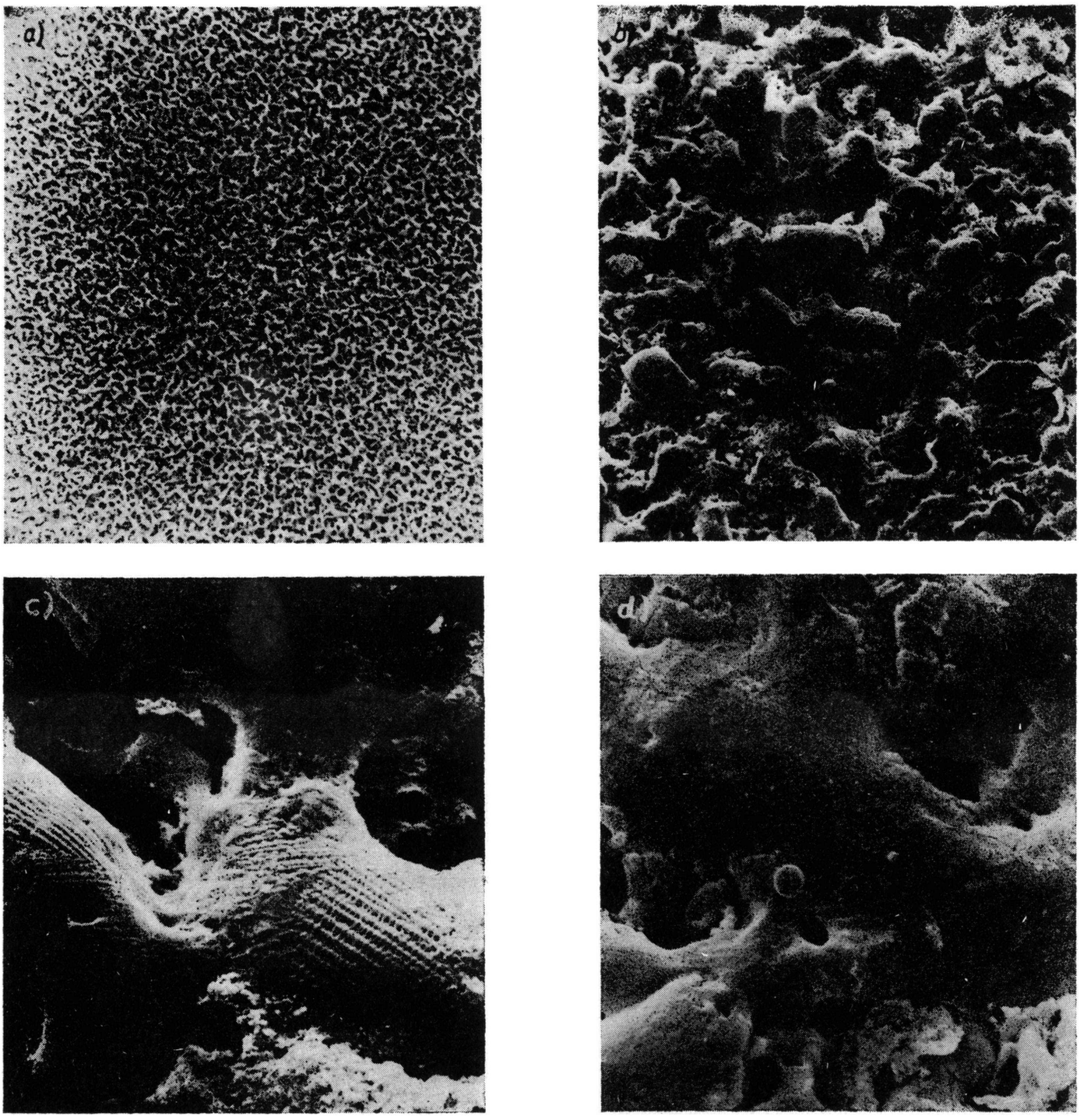


Bild 3. Elektronenmikroskopische Untersuchung von Al_2O_3-Deckschichten (vgl. Text)
a) Normalzustand nach längerem Betrieb (1200fach)
b) Verbrannter Kontakt (1200fach)
c) Thermische Ätzstrukturen (6000fach)
d) Risse im Bereich der Druckstückkante (6000fach)

und Cu eine Schichtzerstörung durch einsetzende Ionenleitung (ohne ausgeprägten Durchschlag) stattfindet. Die Zerstörung der Al_2O_3-Schicht erfordert dagegen stets einen elektrischen Durchschlag. Es wurde auch gezeigt, daß die beim Durchschlag entstehende metallische Brücke nicht durch den nachfolgenden Laststrom, sondern während einiger Nanosekunden durch die sich in den Durchbruchkanal entladende Energie der Kontakt-Parallelkapazität hervorgerufen wird. Da die bekannten Untersuchungen an anodisch oxydierten Al-Drähten mit vorzugsweise größeren Schichtdicken ausgeführt wurden, erschien eine Überprüfung unter den vorstehend geschilderten Bedingungen ratsam.

2.2. Die R_K-U_K-Charakteristik von Al-Kontakten

Zur quasistatischen Messung der Spannungsfestigkeit einer an handelsüblichen Al-Drähten vorgefundenen Deckschicht wurden in einer Kreuzdrahtanordnung zwei frisch abisolierte Al-Drähte bzw. ein Al-Draht und ein versilberter Cu-Draht gepaart. Als Spannungsquelle diente eine Batterie, wobei die Spannungshöhe durch Verändern eines aus Massewiderständen gebildeten Spannungsteilers von Hand mit etwa 0,05 V s gesteigert wurde. Bild 4 zeigt einen charakteristischen Verlauf, aus dem sich in Verbindung mit der früheren Schichtdickemessung eine Durchbruchsfeldstärke von $4{,}8 \cdot 10^6$ bis $1{,}0 \cdot 10^7$ V cm berechnen läßt. Dieses Ergebnis stimmt befriedigend mit dem von *Dietrich* [9] angegebenen Wert von $8{,}3 \cdot 10^6$ V cm überein und liegt deutlich unter den Angaben von *Kawamura* und *Azuma* [10] für Schichtdicken von 10 bis 200 nm. Zu beachten sind die Meßunsicherheiten bei der Schichtdickebestimmung und der Umstand, daß Verunreinigungen der Schicht (z. B. mit Alkalimetallen) den Einsatz des Durchbruchsmechanismus zu niedrigeren Werten verschieben können.
Beim Erhöhen des Stromes nach erfolgter Brückenbildung (Frittung) steigt der Spannungsabfall zunächst an, bis die Größenordnung der Siedespannung (etwa 0,7 V) erreicht ist und fällt anschließend infolge Vergrößerung der Metallbrücke wieder ab (Bild 4).

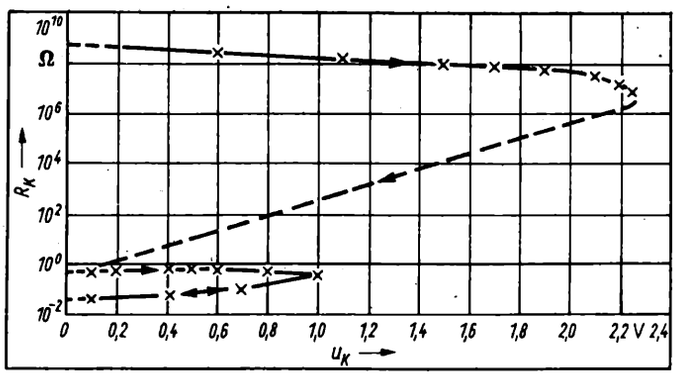


Bild 4. R_K-U_K-Charakteristik einer an handelsüblichen Drähten vorgefundenen Deckschicht ($F_K \approx 0{,}1$ N)

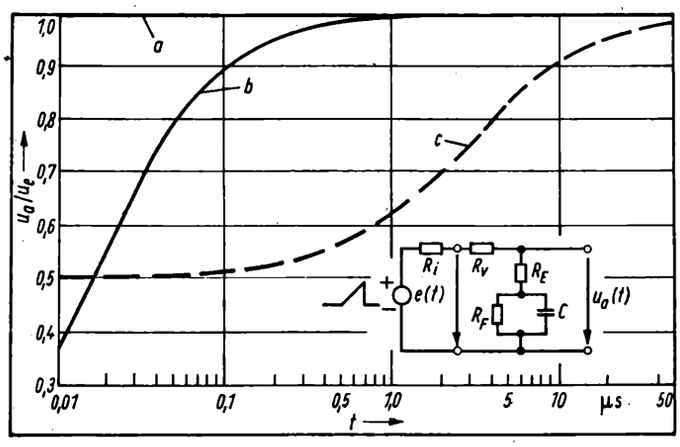
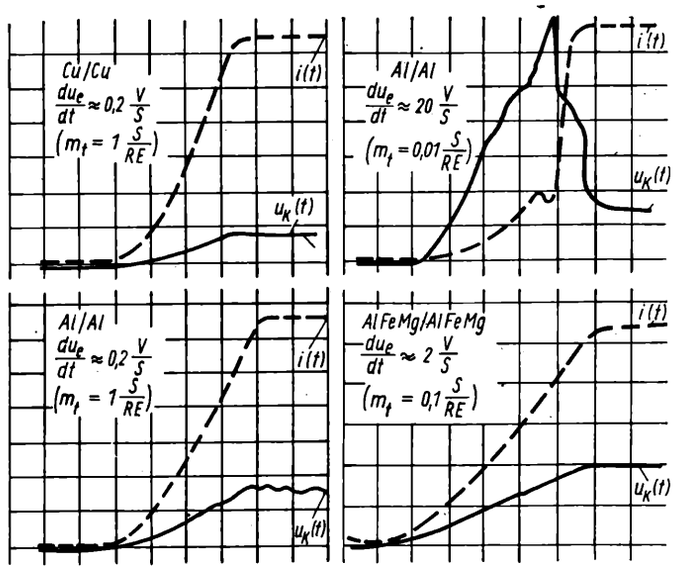


Bild 5. Ersatzschaltbild und Spannungsanstiege an der Kontaktstelle
a) Ideale Annahme
b) Mit „realen" Stromkreisparametern ($R_v \sim 1\ \Omega$; $C \sim 10$ nF)
c) mit Versuchsdaten nach [9]

2.3. Der Spannungsrampentest

Zur Bestimmung der Spannungsfestigkeit von Schichten wird in der Regel eine Spannungsquelle mit wählbar linear ansteigender Spannung benutzt. Dabei wird der Strom mit Hilfe eines Vorwiderstandes R_V in Reihenschaltung zur Kontaktstelle begrenzt. Allerdings ist die Wahl von R_V problematisch. Für reine Spannungsfestigkeitsuntersuchungen wird $R_V \sim 10^3$ bis $10^6\ \Omega$ bevorzugt [9], um thermische Wirkungen in der Durchbruchstelle zu vermeiden. In der Praxis hat R_V jedoch die Größenordnung von einigen Ω,

Bild 6. Kontaktspannung (u_K) und -strom (i) bei linear ansteigender Quellenspannung ($F_K \approx 3$ N, $R_v = 1{,}8\ \Omega$; dünne Deckschichten; $m_u = 0{,}1\ \frac{V}{RE}$; $m_I = 1\ \frac{A}{RE}$)



und dann treten dielektrische und thermische Wirkungen in der Kontaktstelle mit Deckschicht nebeneinander auf. Hierdurch werden auch die Ergebnisse bezüglich Durchbruchsspannung und Endwiderstand beeinflußt. Für die Ersatzschaltung nach Bild 5 läßt sich aufschreiben:

$$\frac{u_a}{u_e} = \frac{i\,R_E + u_c}{i\,(R_E + R_V) + u_c}. \tag{1}$$

Mit $u_c = u_{RF} = \frac{1}{C}\int i_2\,\mathrm{d}\,t$ unter Verwendung des DUHAMELschen Integralsatzes folgt:

$$\frac{u_a\,(t)}{u_e\,(t)} = 1 - \frac{\tau}{t}\left(\frac{R_E + R_F}{R_E + R_F + R_V} - \frac{R_E}{R_E + R_V}\right)\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right] \tag{2}$$

$$\tau = C\,\frac{R_F\,(R_E + R_V)}{R_F + R_E + R_V}. \tag{2 a}$$

Eine Abschätzung für die vorliegende Kreuzdrahtverbindung ergibt:

— Stromengewiderstand	$R_E \approx 10^{-3}\ \Omega$
— Fremdschichtwiderstand	$R_F \approx 10^2$ bis $10^3\ \Omega$
— Kontaktkapazität	$C \approx 10^{-8}$ F (mit $\varepsilon_r \approx 8{,}5$ für Al_2O_3).

Damit ist R_E gegenüber R_F vernachlässigbar und der Vorwiderstand R_V (bzw. gegebenenfalls auch der Innenwiderstand der Spannungsquelle) erhält wesentlichen Einfluß:

$$\frac{u_a\,(t)}{u_e\,(t)} \approx 1 - \frac{\tau}{t}\,\frac{R_F}{R_F + R_V}\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right] \tag{3}$$

$$\tau \approx C\,\frac{R_F\,R_V}{R_F + R_V}. \tag{3 a}$$

Im Falle $R_V \approx R_F$ ergibt sich eine große Zeitkonstante und damit eine im Bereich der Meßzeiten merkliche Beeinflussung der an der Kontaktstelle anliegenden Spannung $u_a\,(t)$. Die Beanspruchung ist geringer, als es der Verlauf der Generatorspannung vorgibt. Dieser Einfluß ist vor allem bei hoher Spannungsanstiegsgeschwindigkeit zu berücksichtigen und erklärt — zumindest teilweise — den von *Dietrich* [9] experimentell festgestellten Befund $U_d = f\left(\frac{\mathrm{d}\,u_e}{\mathrm{d}\,t}\right)$. Unter Praxisbedingungen ist $R_V \ll R_F$ (vor dem Durchschlag) und damit nach weniger als 10^{-7} s Gleichheit der Spannungsverläufe erreicht, sofern nicht $R_F\,(u_a) \to R_V$ (während des Durchschlags) berücksichtigt werden soll. Unter diesen Bedingungen der gleichzeitigen dielektrischen und thermischen Wirkungen in der Kontaktstelle werden bei Spannungs-Anstiegsgeschwindigkeiten bis etwa 2 V s reproduzierbar niedrigere und von der Anstiegssteilheit $\mathrm{d}u_a/\mathrm{d}t$ unabhängige Durchbruchsspannungen (max. 0,1 V bei Cu und 0,2 V bei Al) gemessen und Durchbruchsfeldstärken von $1{,}8 \cdot 10^5$ V/cm bei Cu und $4 \cdot 10^5$ V/cm bei Al berechnet. Bei rascheren Spannungsanstiegen tritt zunehmend ein Zeiteffekt auf, d. h., der Durchbruch wird verzögert und die Durchbruchsspannung erreicht naturgemäß höhere Werte. Beispielsweise wurde für Al bei einer mittleren Spannungs-Anstiegsgeschwindigkeit von 20 V/s eine „Steigerung" der Durchbruchsfeldstärke auf $1{,}4 \cdot 10^6$ V/cm und bei 200 V/s auf $2{,}6 \cdot 10^6$ V/cm registriert. Diese Zunahme bleibt hinter dem von *Dietrich* [9] angegebenen Verlauf $U_d \sim \ln\left(\frac{\mathrm{d}\,u_e}{\mathrm{d}\,t}\right)$ zurück. Ausgewählte Verläufe von Kontaktspannung und -strom bei Variation von Material und Spannungsanstiegsgeschwindigkeit sind im Bild 6 dargestellt. Für eine eingehendere Untersuchung der Durchbruchsverzögerung wären Messungen der in die Kontaktstelle eingeflossenen Energie nötig.

2.4. Der Sinushalbwellentest

Eine weitere Möglichkeit zu gezielten Untersuchungen von fremdschichtbedeckten Kontakten besteht im Anlegen einer Halbwellenspannung bzw. eines Halbwellenstromes. Diese Methode erscheint praxisnah und wird vor allem bevorzugt, wenn von vornherein die Merkmale der thermischen Schichtzerstörung betont werden sollen. Bild 7 zeigt hierzu einen Materialvergleich und den Einfluß schnell aufeinanderfolgender Belastungen. Beim versilberten Draht gleichen sich die oszillografierten Kontaktspannungsverläufe, wogegen beim Cu- und Al-Draht wesentliche Unterschiede in den Spannungsamplituden an sich und bei Erst- und Zweitbeanspruchung festge-

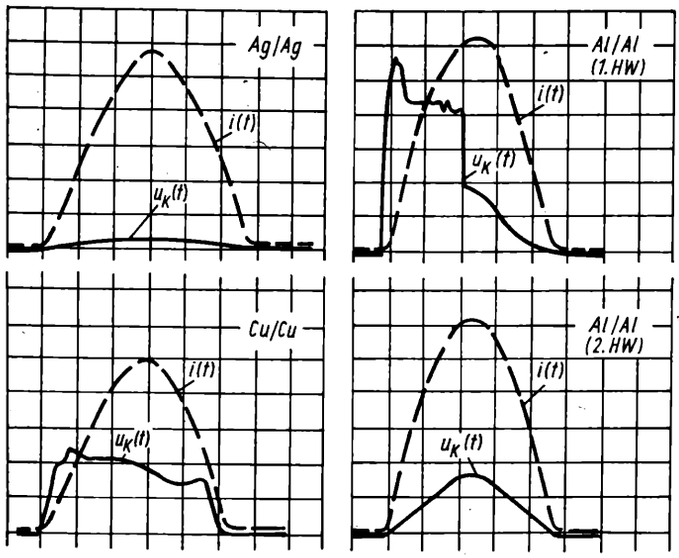


Bild 7. Kontaktspannung (u_K) und -strom (i) bei sinusförmig ansteigender Quellenspannung ($F_K \approx 3$ N; dünne Deckschichten; $m_u = 0{,}1 \frac{V}{RE}$; $m_I = 10 \frac{A}{RE}$; $m_t = 2 \frac{ms}{RE}$)

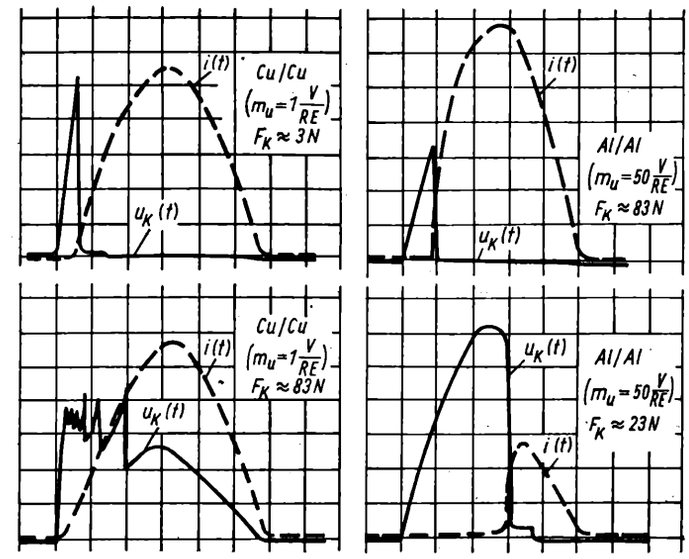


Bild 8. Untersuchung dicker Deckschichten ($s_{ox} \approx 250$ nm; $m_I = 10 \frac{A}{RE}$; $m_t = 2 \frac{ms}{RE}$)

stellt werden. Wesentlich ist auch, daß beim Al-Draht bereits nach 30 bis 60 s Wartezeit das Ergebnis der ersten Schichtzerstörung völlig rückgängig gemacht ist, d.h. bei nachfolgenden Beanspruchungen der Verlauf einer Erstbeanspruchung registriert wird. Zu beachten ist, daß es sich hier im Gegensatz zu [9] um „Selbstheilungsvorgänge" im Langzeitbereich handelt. Ursache für dieses Verhalten kann nur ein rasches Eindiffundieren von Sauerstoff in die Schmelzbrücken und deren Rückwandlung sein. Bei Vergrößerung der Kontaktkraft auf für Starkstromklemmen übliche Werte (mehrere 10 N) entsprechen die oszillografierten Kontaktspannungsverläufe infolge partieller Zerstörung und Deformation der Deckschicht den für die Paarung Ag-Ag gezeigten.

Bei der Untersuchung künstlich hergestellter dicker Deckschichten (50 bis 500 nm) ergaben sich — abgesehen von Übergangserscheinungen — völlig andere Kontaktspannungsverläufe (Bild 8). Charakteristisch ist das Auftreten hoher Spannungsspitzen (z.B. 5 V bei Cu und mehrere 100 V bei Al) auch bei hohen Kontaktkräften und ein deutlich von der Beanspruchungsdauer abhängiges Durchbruchsgeschehen (vgl. Paarung Al-Al bei $F_K = 23$ N: Durchbruch nach dem Maximum der Sinuswelle). Aus den Messungen ist zu entnehmen, daß die Durchbruchsverzögerung bei Al mit der Deckschichtdicke wächst. Dieser Befund steht im Widerspruch zu der Formulierung

$$t_d = K_1 \exp\left(-\frac{U_d}{K_2}\right)$$

in [9], aus der mit der gleichfalls erhobenen Forderung $E_d \approx$ const und $U_d = E_d\, s_{ox}$ die Abhängigkeit $t_d \sim \exp(-s_{ox})$ folgen müßte. Offenbar bestehen hierzu kompliziertere Zusammenhänge. Eine Erklärung könnte die von *Olshausen* und *Westerholt* [11] entwickelte Theorie der Ausbildung lokaler Schwachstellen im Isolierstoffvolumen durch elektronische Haftstellen (traps) geben, zumal die von den Autoren angebotene Gesetzmäßigkeit $E_d^n\, t_d$ = const. mit $E_d = f(s_{ox})$ das an Al-Drähten mit dickeren Deckschichten erhaltene Ergebnis qualitativ bestätigt.

3. Schlußfolgerungen für die Technik der Starkstromklemmen

Ausgehend von den Meßergebnissen an handelsüblichen Drähten kann die von der Installationspraxis häufig erhobene Forderung nach dem Wegfall der mechanischen Reinigung (Schaben) der anzuschließenden Drähte positiv beantwortet werden, wenn die Möglichkeit eines Zurückschneidens der Isolation besteht. Unabhängig davon sollten bei der Entwicklung von Starkstromklemmen Klemmböden mit rauher Oberfläche (Rauhtiefe 10 bis 100 µm), beispielsweise durch einen harten galvanischen Überzug erzeugt, Anwendung finden. Die prinzipielle Wirksamkeit derartiger Maßnahmen ist an anderer Stelle (Kontaktpasten [12], gefettete Riffelbleche [13]) bereits im Langzeittest nachgewiesen.

Aus den Untersuchungsergebnissen geht auch hervor, daß an fremdschichtbedeckten Cu- und Al-Kontakten gleichartige Spannungscharakteristiken erzielbar sind und niedrigere Werte realisiert werden, wenn der Al-Kontakt mit einer entsprechend großen Kraft beaufschlagt wird. Dieses Ergebnis ist jedoch für die Technik der Starkstromklemmen aus mechanischen Gründen [1] [2] nur bedingt nutzbar. Bei auftretenden Kurzschlüssen sind Deckschichten in der Regel unproblematisch, weil die thermische Zersetzung relativ rasch vor sich geht. Demgegenüber stellen Deckschichten in Neutralleiterklemmen — insbesondere bei geringer Belastung derselben — eine starke Gefährdung dar, da die Schutzmaßnahme Nullung unwirksam wird.

Literatur

[1] *Amft, D.; Benedix, U.:* Zur Deformation des Drahtanschlusses in Klemmen' Impuls, Dresden 22 (1982) 3, S. 124 – 129

[2] *Amft, D.:* Über das zeitliche Nachlassen der Klemmenkraft (Kriechen). Impuls, Dresden 22 (1982) 4, S. 166 – 172

[3] *Keil, A.:* Werkstoffe für elektrische Kontakte. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag 1960

[4] *Urbig, J.:* Über den Fremdschichtwiderstand und den statistischen Charakter des Kontaktwiderstandes. Diss. TH Karl-Marx-Stadt (1977)

[5] *Klengel, H.:* Der Einfluß von Hautschichten auf den Übergangswiderstand von Aluminium-Preßverbindungs-Armaturen. Elektro-Apparate-Mitteilungen 7 (1967) Sonderheft, S. 5 – 8

[6] *Hauffe, K.:* Oxydation von Metallen und Legierungen. Berlin: Springer-Verlag. 1956

[7] *Fischer, H.; Hauffe, K.; Wiederholt, W.:* Passivierende Filme und Deckschichten. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag 1956

[8] *Gulbransen, E. A.:* Kinetic and Structural Factors involved in Oxidation of Metals (Kinetische und strukturelle Faktoren bei der Oxydation von Metallen). Industrial and Engineering Chemistry 41 (1949) 7, 1383 – 1391

[9] *Dietrich, B.:* Über die Frittung von Fremdschichten in ruhenden elektrischen Kontakten. Dissertation TH Braunschweig (1973)

[10] *Kawamura, H.; Azuma, K.:* Dielectric Breakdown of thin Alumina Film J. Phys. Soc. Japan 8 (1953), S. 797 – 798

[11] *Olshausen, R.; Westerholt, H.:* Volumeneffekte beim Wechselspannungsdurchschlag von PE-Modellprüfkörpern. ETZ-archiv 3 (1981) 1, S. 23 – 26

[12] *Kurze, P.; Marx, G.; Richter, W.; Kryshman, W.:* Kontaktpasten und Zusammensetzung zur Langzeitstabilisierung von Widerständen. DD-WP 0152445

[13] *Geißler, D.:* Lösungsvariante für Aluminiumleiteranschlüsse. Impuls, Dresden 17 (1977) 1, S. 20 – 25

EA 5218

Stochastische Modellierung des Schaltlichtbogens

L. Rothardt, Jena

1. Einleitung

Aus der Streuung der Prüfergebnisse an Leistungsschaltern ist deutlich zu erkennen, daß der Löschprozeß statistischen Charakter besitzt. Er muß bekannt sein, wenn man z. B. das Schaltvermögen hintereinandergeschalteter Schaltstrecken bzw. Schaltkammern einschätzen will. Reine Grenzaussagen über eine einzelne Schaltstrecke reichen dafür nicht aus; sie ergeben übererhöhte Forderungen, die ökonomisch nicht verantwortbar sind.

Steel und Swift-Hook [1] behandeln dieses Problem aus der Sicht des Ingenieurs, indem sie zunächst den Einfluß äußerer Größen (aus dem Netz; wiederkehrende Spannung, charakteristische Frequenz der wiederkehrenden Spannung, abzuschaltender (Fehler-)Strom und innerer Größen (charakteristisch für den Schalter; Löschgasdruck, Kontaktgeschwindigkeit, Bogendauer) auf die Versagenshäufigkeit feststellen und dann eine Verknüpfung der so gefundenen Wahrscheinlichkeiten vornehmen.

Ein solches Verfahren dient sicher dem Nachweis statistischer Einflüsse, verlangt aber zur Beschreibung realer Schaltkammern ökonomisch unzulässig viele Messungen. Es liegt daher nahe, Schaltlichtbogenmodelle so zu erweitern, daß sie (möglichst wenige) stochastische Parameter enthalten, und damit die Statistik der Versagensfälle richtig wiedergeben. Dies wurde bisher allein vom Zweipol-Modell (bb-Modell) ausgehend versucht. Die dabei bisher erzielten Ergebnisse sowie Möglichkeiten für die weitergehende Bearbeitung werden im folgenden dargestellt und kritisch diskutiert.

2. Stochastische bb-Modelle

2.1. Bisher publiziert

Sporckmann [2] postuliert, daß sowohl die Verlustleistung P als auch die Zeitkonstante τ verrauscht sind gemäß

$$P = \overline{P}\,(1 + \xi_P)$$
$$\tau = \overline{\tau}\,(1 + \xi_\tau) \qquad (1)$$

und setzt als stochastische Differentialgleichung des Schaltlichtbogens im bb-Modell an

$$\dot{g}\,(t) = \frac{g\,(t)}{\overline{\tau}\,(g)\,(1 + \xi_\tau)}\left[\frac{u\,(t)\,i\,(t)}{\overline{P}\,(g)\,(1 + \xi_P)} - 1\right]. \qquad (2)$$

ξ_P und ξ_τ sollen eine Gaußsche Verteilung mit der Standardabweichung s_P bzw. s_τ besitzen und unkorreliert sein. Die Anwendung des stochastischen Lichtbogenmodelles erfolgt dann so, daß die numerische Abarbeitung jedes individuellen Schaltfalls unter Einbeziehung der aus zwei unabhängigen Rauschgeneratoren bezogenen ξ_P und ξ_τ erfolgt. Die Statistik einer genügend großen Anzahl von Realisierungen (also $U\,(t)$-$I\,(t)$-Paaren) für fixierte äußere Bedingungen liefert dann bei Variation eines wesentlichen Parameters (z. B. eines Kurzschlußstromes) die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Schaltversagen in Abhängigkeit von diesem Parameter. Die Informationen für $\overline{P}\,(g)$, $\overline{\tau}\,(g)$, s_P und s_τ müssen an Prüfoszillogrammen ausgewertet werden. Außerdem müssen die Korrelationszeiten für ξ_P und ξ_τ (zumindest grob) bekannt sein (Schrittweitengrenze!).

Möller, Schmidt und *Sporckmann* [3] wenden dieses Modell auf einen axial beblasenen SF_6-Bogen an. Eine Modellierung des Verhaltens des realen Bogens gelingt, wenn $s_\tau = 0{,}17$ und $s_P = 0{,}27$ gesetzt werden und eine Autokorrelationszeit bezüglich ξ_P und ξ_τ von (nur!) 0,05 µs angenommen wird. Die Kreuzkorrelation wird als identisch Null angesetzt.

Meynarczyk [4] geht ebenfalls vom 2-Pol-Modell nach *Mayr-Cassie* aus, betrachtet aber den integralen Energieinhalt des Schaltlichtbogens W als stochastische Größe. Der fluktuierende Bogenleitwert G bzw. Bogenwiderstand R werden als abgeleitete Größe behandelt. Eine physikalisch-technische durchsichtige Form des Endergebnisses wird nicht erzielt.

2.2. Unser Vorschlag

Um zu einer kritischen Bewertung des stochastischen Modelles von *Sporckmann* zu kommen, sei zunächst an die Herleitung der Lichtbogengleichung im 2-Pol-Modell (bb-Modell) erinnert: Es wird angenommen, daß der integrale Energieinhalt des Schaltlichtbogens W allein vom Bogenleitwert g abhängig, also

$$W = W\,(g),\ g = g\,(t) \qquad (3)$$

gilt. Die Zeitableitung von W kann in folgender Weise faktorisiert werden

$$\mathrm{d}W/\mathrm{d}t = (\mathrm{d}W/\mathrm{d}g) \cdot (\mathrm{d}g/\mathrm{d}t). \qquad (4)$$

Diese Änderung des Energieinhaltes des Schaltlichtbogens ist der Differenz zwischen integral zugeführter und integral abgeführter Leistung äquivalent

$$\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = P_{\mathrm{zu}} - P_{\mathrm{ab}}. \qquad (5)$$

Dabei ist

$$P_{\mathrm{zu}} = u\,i;\quad P_{\mathrm{ab}} = P_0. \qquad (6)$$

Eine Umformung von (4), (5) unter Berücksichtigung von (6) mit der Abkürzung

$$\tau = g\,(\mathrm{d}W/\mathrm{d}g)/P_0 \qquad (6\,\mathrm{a})$$

liefert die Lichtbogengleichung in der üblichen Form:

$$\mathrm{d}\,(\ln g)/\mathrm{d}t = \frac{1}{\tau}\left(\frac{u\,i}{P_0} - 1\right), \qquad (7\,\mathrm{a})$$

die wir zur Erleichterung der folgenden Diskussion etwas umordnen zu

$$\mathrm{d}\,(\ln g)/\mathrm{d}t = \frac{u\,i}{P_0\,\tau} - \frac{1}{\tau}. \qquad (7)$$

Von außen auf den Schaltlichtbogen einwirkende Störungen werden direkt an der Verlustleistung P_0 angreifen (z. B. die durch Turbulenz im Kühlgasströmungsfeld verursachten Veränderungen des radialen Temperaturgradienten). Derartige stochastische Fluktuationen sind im bb-Modell zu beschreiben durch

$$P_0 = P_{00}\,(1 + \xi). \qquad (6\,\mathrm{b})$$

Daraus ergibt sich als Konsequenz der Definitionsgleichung (6 a)

$$\tau = \tau_0/(1 + \xi). \qquad (6\,\mathrm{c})$$

Das Produkt $P_0\,\tau$ wird also definitionsgemäß nicht durch die Fluktuationen beeinflußt

$$P_0\,\tau = P_{00}\,\tau_0. \qquad (8)$$

Einen experimentellen Beleg für diese Aussage lieferte (unbewußt) *Schmidt* [5]. Er konnte durch genaue Messungen an einem SF_6-Schaltlichtbogen nachweisen, daß das Produkt $P_0\,\tau$ auch nahe beim Stromnulldurchgang, wenn W nicht mehr allein von g abhängt, wie es in (3) vorausgesetzt wurde, in gute Näherung als Funktion von g allein beschrieben werden kann. Um die in nächster Näherung zu berücksichtigende Abhängigkeit der Größen P_0 und τ vom Strom richtig zu beschreiben, führte er eine sogenannte Zustandsfunktion $z = z\,(g, i)$ ein; es wird dann

$$P\,(g, i) = z\,(g, i)\,P_0\,(g),$$
$$\tau\,(g, i) = \tau_0\,(g)/z\,(g, i). \qquad (8\,\mathrm{a})$$

Es kann also angenommen werden, daß (8) im Rahmen des bb-Modells eine gute Näherung darstellt und sich die *charakteristische Bogenarbeit* $P_0\,\tau = g\,(\mathrm{d}W/\mathrm{d}g)$ gegenüber von außen an den Schaltlichtbogen herausgetragenen Störungen wesentlich stabiler zeigt als die einzelnen Faktoren. Für Störungen durch Strömungsrelaxation bzw. Gasträgheit nach Düsenverschluß wurde dies bereits von *Schemmann* [6] vorausgesetzt. In diesem Sinne ist

$$\mathrm{d}\,(\ln g)/\mathrm{d}t = \frac{u\,i}{P_0\,\tau} - \frac{1}{\tau}\,(1 + \xi_1) \qquad (9)$$

eine einfachere *und* bessere stochastische Modell-Differentialgleichung mit nur einem fluktuierenden Parameter für den Schaltlichtbogen in 2-Pol-Darstellung als (2).

Die experimentell zu erfassenden Größen reduzieren sich in diesem

Dr. sc. nat. *Ludwig Rothhardt* war zur Zeit der Abfassung dieses Berichtes wissenschaftlicher Abteilungsleiter im Physikalisch-Technischen Institut der Akademie der Wissenschaften der DDR.

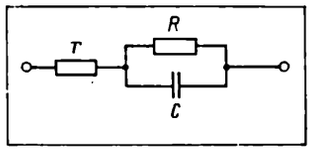


Bild 1. Ersatzschaltbild des Schaltlichtbogens im two-part-Modell

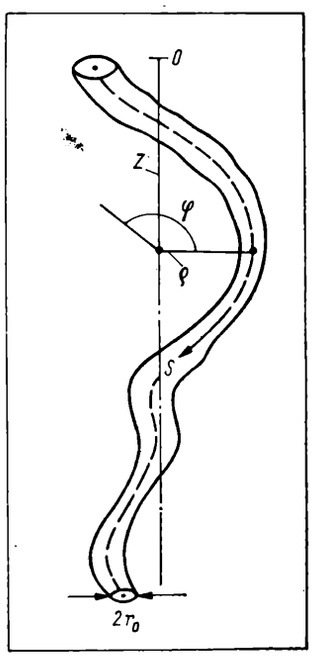


Bild 2. Deformierter Schaltlichtbogen

Falle auf $P_0\,(g)$ und $\tau\,(g)$ unter quasistationären Bedingungen, sowie die Auswertung von i- und/oder u-Oszillogrammen bezüglich des fluktuierenden $1/\tau$.

Bei numerischer Modellierung wird nur ein „Rauschgenerator" mit den obengenannten Eigenschaften benötigt.

Dies erleichtert den Start sowohl experimenteller als auch numerischer Untersuchungen zur Stochastik von Schaltlichtbögen. Es muß allerdings bemerkt werden, daß erst die fundiertere Behandlung des Wechselwirkungsintervalles [7] mit einem pm-Modell und umfangreicher experimenteller Arbeit eine quantitative Bewertung der Quellen der Fluktuation und damit der stochastischen Größen bereits im Verlaufe der Schalterentwicklung ermöglichen wird.

Auf die mathematische Theorie der stochastischen Differentialgleichungen (s. z. B. [8]) kann man sich dabei kaum stützen, da diese weißes, absolut unkorreliertes Rauschen voraussetzt, während in der Realität ein „farbiges" bandbegrenztes Rauschen vorliegt.

3. Weiterreichende Ansätze

Methodisch günstiger erscheint es, vom schlichten bb-Modell ausgehend sich durch schrittweise Verallgemeinerung der physikalisch-mathematischen Beschreibung in allgemeinster Form zu nähern. Für die deterministische Behandlung des Schaltlichtbogens tun dies *Welly* [9] sowie *Von Bonin, Brüggemann* und *Thiel* [10]. Sie kommen unabhängig voneinander zu der Überzeugung, daß der Schaltlichtbogen in einer Düsenströmung als Serienschaltung zweier Widerstände bzw. zweier Bogenteile beschrieben werden kann, deren einer löschaktiv und deren anderer inaktiv ist. *Von Bonin* u. a. schreiben daher für die Serienschaltung der beiden Widerstände R_1 und R_2 eine *two part arc equation*

$$\frac{\mathrm{d}R}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}R_1}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}R_2}{\mathrm{d}t} = -\frac{R_1}{\tau_1(g_1)}\left(\frac{i^2 R_1}{P_1(g_1)} - 1\right) - \frac{R_2}{\tau_2(g_2)}\left(\frac{i^2 R^2}{P_2(g_2)} - 1\right). \tag{10}$$

Welly formuliert ein Kanalmodell bei voller Berücksichtigung der z-Abhängigkeit der wesentlichen Größen und ermittelt aus dem Verlauf einer lokalen thermischen Zeitkonstante τ_1 die *Länge des Löschgebietes*. Beide Arbeiten führen zu einer verbesserten Beschreibung des Lösch- bzw. Wiederzündvorganges. Kritisch zu vermerken ist, daß die Kriterien für die Aufteilung in R_1 und R_2 bzw. für die Länge des Löschgebietes auf das Kaltgasströmungsfeld bezogen sind (d. h. den Bogen als lokale Wärmequelle vernachlässigen). Dies kann aber in diesem Bericht nicht Gegenstand einer Diskussion sein. Wir können hier nur feststellen, daß die Länge des Löschgebietes bzw. das Widerstandsverhältnis (z. B. im Stromnulldurchgang) von Schaltspiel zu Schaltspiel schwanken wird, also einen stochastischen Parameter darstellt, der neben das τ als stochastischen Prozeß tritt. Der nächste verallgemeinernde Schritt muß auf die im üblichen Bogenmodell postulierte hohe Symmetrie verzichten und den Bogen durch den verkrümmten Verlauf seiner Bogenseele $(z\,(s), \varrho\,(s), \varphi\,(s))$ den ortsabhängigen Verlauf des Kanaldurchmessers $r_0\,(s)$ bzw. der zugehörigen Kerntemperatur $T_0\,(s)$ und die lokale thermische Zeitkonstante $\tau\,(s) \equiv \tau_1$ beschreiben. In diesem Bild wird deutlich, welche Kräfte bzw. Deformationen im Wechselwirkungsintervall den Bogen bis zum Moment des Auftretens der wiederkehrenden Spannung beeinflussen. Es sind dies:

1. Eine axiale Verschiebung des Bogens (infolge der Beblasung) führt an der stromaufliegenden Elektrode Kaltgas zu.
2. Großskalige Turbulenzelemente deformieren den Bogen.
3. Schwankungen des Temperaturgradienten am Bogenkern (bei r_0) verändern den Kerndurchmesser des Bogens $r_0\,(s)$.

Als charakteristische Geschwindigkeiten für die obigen Deformationen ergeben sich:

1. Schallgeschwindigkeit im Kaltgas
   $v_1 \approx v_s$
2. Quergeschwindigkeit in turbulenter Strömung
   $v_2 \leqq 0{,}1\, v_1$
3. Schallgeschwindigkeit am Bogenkanalrand
   $v_3 = \mathrm{d}r_0/\mathrm{d}t \leqq v_s\,(r_0) = \sqrt{T_0/T_{\text{Kaltgas}}}\, v_1$.

Berücksichtigt man noch, daß die Taylor-Hypothese für turbulente Strömungen näherungsweise gilt, dann können die unter Punkt 2. genannten Deformationen in dem interessierenden Zeitraum des Wechselwirkungsintervalls bis zur Spannungswiederkehr als eingefroren angesehen werden; diese Erscheinungen treten in einer zukünftigen stochastischen Theorie des Wiederzündens, also als stochastisch von Schaltung zu Schaltung schwankende Anfangsbedingungen (stochastischer Parameter) auf. Die unter 1. genannten axialen Drifterscheinungen haben (bei Strecken der Größe cm) für SF_6 eine charakteristische Zeitkonstante $\tau_1 = 100\,\mu s$; sie sind also im Grunde noch deterministisch zu behandeln. Die unter Punkt 3. genannten Kanalradiusschwankungen hingegen (charakteristische Länge mm) haben charakteristische Zeitkonstanten von $\tau_3 = 2\,\mu s$; sie stellen einen mit der Ortskoordinate s variablen stochastischen Prozeß dar, der nur mit Hilfe umfangreicher Messungen (Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung von δr_0, Korrelationslänge, ...) identifiziert werden kann.

Spätestens an dieser Stelle erhebt sich die Frage, wie weit man bei der stochastischen Modellierung des beströmten Schaltlichtbogens auf dem Wege zur vollen physikalisch-mathematischen Beschreibung gehen kann. Sicher ist, daß die effektivsten stochastischen Einflüsse auf den abklingenden Schaltlichtbogen durch die Achsentemperaturfluktuationen wiedergegeben werden. Aber selbst diese sind langsam gegenüber der Durchbruchszeit. Es kann daher in guter Näherung angenommen werden, daß jedes stochastische Schaltlichtbogenmodell nicht mehr liefert als die Anfangsbedingungen für ein (natürlich kompliziertes) Durchbruchproblem, das Wiederzünden. Das gilt sogar für das thermische Wiederzünden, denn die Entscheidung „Löschen oder Wiederzünden" fällt auch in diesem Falle in einem sehr kurzen Zeitintervall. Eigene experimentelle Erfahrungen [11] stützen diese Vorstellung.

4. Kriterien für thermisches und dielektrisches Wiederzünden

Rückblickend sei noch skizziert, welche Aussagen das deterministische und das stochastische Zweipol-Modell in der Form (9) und in der two-part-Form (10) für die Grenze thermisch/dielektrisch beim Wiederzünden und für die Entscheidung „Wiederzünden/Löschen" liefern:

Die Zweipol-Beschreibung des Schaltlichtbogens mit Hilfe eines zeitabhängigen Leitwertes $g\,(t)$ und $P_0\,\tau$ für den Bogen integral (one-part-Modell) liefert für die Entscheidung „Verlöschen/Wiederzünden" im thermischen Bereich, d. h. in der Umgebung des Minimums oder (bei dessen Nichtexistenz) des Wendepunktes der $g\,(t)$-Kurve,

$$\mathrm{d}\,(\ln g)/\mathrm{d}t = 0 \text{ bzw. } \mathrm{d}^2\,(\ln g)/\mathrm{d}t^2 = 0, \tag{11}$$

die lokale gültige Entscheidungsgleichung

$$\frac{u\,i}{P_0\,\tau} \leqq \frac{1}{\tau}\,(1 + \xi_1). \tag{11a}$$

Im deterministischen Bild ($\xi_1 = 0$) ist die Entscheidung exakt zu treffen. Im stochastischen Falle hängt die Wahrscheinlichkeit des Wiederzündens von der Streubreite von ξ_1 ab. Der Einfluß von Störungen auf eine kritische Größe (z. B. kritischer Strom $I_{krit} = \sqrt{P_0 (g_0) g_0}$ oder kritische Spannung $U_{krit} = \sqrt{P_0/g_0}$ im deterministischen Falle) ist in der Umgebung eines (11) lösenden g_0 besonders stark. Diese Situation bedarf der Behandlung durch eine Katastprohentheorie mit stochastischen Koeffizienten.

Aussagen über dielektrisches Wiederzünden sind in diesem Modell, dem überhöhte Symmetrieforderungen inhärent sind, nur formal möglich: Es gilt

$$U_{krit} = U_i \frac{1}{\lambda} \gamma \tag{12}$$

U_i Ionisationsspannung
λ freie Weglänge der Elektronen
γ berücksichtigt die Stoßeffektivität.

Die Situation verbessert sich sehr, wenn man zum realistischen two-part-Modell übergeht. In recht allgemeiner Form ist der Bogen dann als Serienschaltung eines (relativ kleinen) Widerstandes r mit einer R-C-Kombination darzustellen, in der die Größen natürlich zeitabhängig sind. In der thermischen Phase bleibt C vernachlässigbar klein. Die Glieder der Widerstandskette r-R besitzen unterschiedliche P_0 und τ; R stellt den löschaktiven Teil des Bogens dar, dessen stochastische Eigenschaften analog zu (11a) den Wiederzündprozeß beeinflussen.

Der Übergang thermisch/dielektrisch wird durch die Bedingung

$$RC \gtrless \tau \gg rC \tag{13}$$

festgelegt, die feststellt, daß die kapazitiv wirkende Teilstrecke des abklingenden Schaltlichtbogens polarisiert (aufgeladen) wird. Besitzt sie die Länge l_G, so kann die Bedingung für dielektrisches Wiederzünden jetzt schon wesentlich realistischer formuliert werden mit

$$U_{krit} = \frac{U_i l_C}{\lambda} \gamma \propto \frac{l_C}{T_0} \tag{12}$$

wobei γ nun auch den Einfluß der am Rande der Teilstrecke vorhandenen Ladungsträger (analog zum Durchbruch einer kalten Gasstrecke beim Vorhandensein einer Teilentladung [12]) berücksichtigt.

Die Stochastik greift in diesem Modell neben den P_0 und τ an zwei Größen zusätzlich an:

1. an der Länge des kapazitiven Teilstückes

$$l_C = l_{C0} (1 + \xi_C) \tag{14}$$

2. an der Achsentemperatur (wahrscheinlich — zumindest teilweise — korreliert mit P_0 und τ)

$$T_0 (s) = T_{00} (s) (1 + \xi_T (s)) \tag{15}$$

$s = r, C.$

(12), (13), (14) und (15) können sinngemäß auch für mehrfach unterteilt gedachte Schaltlichtbögen benutzt werden. s ist dann in (15) als laufende Nummer der Teilstücke zu interpretieren.

Diese relativ allgemeine Form der stochastischen Behandlung des Wiederzündproblems verlangt zu ihrer Konkretisierung viel experimentelle Informationen, die nur schrittweise beschafft werden können. Es erscheint daher sinnvoll, parallel zu diesem Unternehmen auch numerische Modellierungen mit fluktuierendem ξ im einfachsten stochastischen Schaltlichtbogenmodell (9) durchzuführen.

Literatur

[1] *Steel, J. G.; Swift-Hook, D. T.:* Statistics of circuit-breaker performance Proc. IEE 117 (1970), S. 1337 – 1345

[2] *Sporckmann, B.:* Ein stochastisches Lichtbogenmodell zur Berechnung von Ausschaltvorgängen von Hochleistungsschaltern. etz-a 99 (1978), S. 758 – 759

[3] *Möller, K.; Schmidt, R.; Sporckmann, B.:* Theoretical and Experimental Investigation of the Stochastic Behaviour of an SF_6 Blast-Switching Arc. IEEE Transact. Plasma Sci. PS-8 (1980), S. 352 – 356

[4] *Mlynarczyk, A.:* Stochastic Model of Arc Column. Mat. Fourth Int. Symposium on Switching Arc Phemonena 1981. Part. I, 81-5

[5] *Schmidt, R.:* Erweiterung phänomenologischer Lichtbogenmodelle für einen SF_6-beblasenen Schaltlichtbogen. Diss. RWTH Aachen 1981 sowie etz-Archiv 4 (1882), S. 341 – 345

[6] *Schemmann, B.:* Zur Trägheit der Löschmittelströmung bei Schaltlichtbögen. etz-a 98 (1977), S. 291 – 294

[7] *Vostracky, Z.:* a) Příspěvek k hodnoceni vypinaciho procesu tlakoplynných vypinaču vvn. Elektrotechn. obzor 87 (1978), S. 535 – 542; b) Schalter in elektrischen Hoch- und Höchstspannungsnetzen. – Aufgaben der technischen und physikalischen Forschung: Hauptvortrag zur 6. Tagung „Physik und Technik des Plasmas", Leipzig, Juli 1982

[8] *Gichman, I. I.; Skorochod, A. W.:* Stochastische Differentialgleichungen, Berlin: Akademie-Verlag 1971

[9] *Welly, J.-D.:* Ein Verfahren zur Berechnung der Kenngrößen von Schaltlichtbögen. etz-Archiv 1 (1979), S. 87 – 90

[10] *Bonin, E. v.; Brüggemann, G.; Thiel, H. G.:* Quenching Processes of Axially Inhomogeneous Arcs in SF_6 Circuit Breakers. IEEE Transact. Plasma Sci. PS-8 (1980), S. 344 – 351

[11] *Michel, G.; Rothhardt, L.:* a) Experiments on arc perturbation in turbulent gas flow. Beiträge aus der Plasmaphysik 22 (1982), S. 477 – 484; b) Untersuchungen beim schnellen Abschalten eines axial turbulent beströmten Lichtbogens c) Untersuchungen eines axial turbulent beströmten Lichtbogens mit Hilfe von Wandsonden Kurzmitteilungen zur 6. Tagung „Physik und Technik des Plasmas". Leipzig, Juli 1982

[12] *Mosch, W.; Hauschild, W.:* Hochspannungsisolierungen in Schwefelhexafluorid. Berlin: VEB Verlag Technik 1979

Zum Berechnen von Wicklungsfaktoren für Wechselstromwicklungen

H. Biesenack, KDT, Ilmenau; M. Richter, KDT; W. Schulze, KDT; Dresden

Verwendete Formelzeichen

m_0	Anzahl der effektiven Leiter oder Stäbe des betrachteten Stranges in der Ausgangslinie *00*
$m_1 \cdots m_{24}$	Anzahl der effektiven Leiter oder Stäbe, bezogen auf einen Strang in der betrachteten Nut, die um den Winkel $\beta_1, \beta_2 \ldots$ von der Ausgangslinie *00* entfernt liegen ($m = 0$ für Leernuten)
N_1	Ständernutenzahl
p	Polpaarzahl
t_{Schr}	Nut- oder Polschrägung (Angabe als Vielfaches zur Nutteilung des Ständers)
$\underline{U}_S$	Spannungszeiger der betrachteten Ständernut bzw. Nuten der Zone eines Stranges
W	Spulenweite (Angabe in Nutteilungen des Ständers)
β	Winkel zwischen Ausgangslinie 00 und der betrachteten Ständernut
ν	Ordnungszahl der Harmonischen
ξ_ν	Wicklungsfaktor der Ordnungszahl
$\xi_{Schr\nu}$	Schrägungsfaktor der Ordnungszahl

1. Problemstellung

Die Berechnung der Wicklungsfaktoren für die Grundwelle und für die höheren Harmonischen der Spannung von Wechselstromwicklungen mit symmetrischer und sich innerhalb einer Polteilung wiederholender Wicklungsverteilung ist relativ einfach, wenig zeitaufwendig und aus der Literatur bekannt.

Aus der Literatur [1] ist weiterhin ein Verfahren bekannt, wonach für symmetrische Wicklungen aus der Zuordnung der effektiv wirksamen Leiter oder Stäbe auf die einzelnen Nuten die Wicklungsfaktoren ermittelt werden können.

Das im vorliegenden Beitrag beschriebene Verfahren zur Bestimmung von Wicklungsfaktoren von Wechselstromwicklungen mit ganzer Lochzahl je Pol und Strang hebt die Bedingung der Wicklungssymmetrie auf, läßt eine unsymmetrische Wicklungsverteilung bezogen auf eine gedachte Mittellinie innerhalb einer Wicklungszone zu und ist damit mit Ausnahme von Bruchlochwicklungen universell anwendbar. Der Nachteil des Verfahrens, daß die an und für sich vorzeichenbehafteten Wicklungsfaktoren nur als Beträge zu ermitteln sind, wird nicht als kritisch angesehen, da in der Praxis zur Beurteilung einer Wicklung gewöhnlich nur der Betrag des jeweiligen Wicklungsfaktors von Interesse ist.

Zur Reduzierung des relativ hohen Aufwandes bei der manuellen

Doz. Dr. sc. techn. *Hartmut Biesenack* ist als Hochschuldozent an der TH Ilmenau tätig. Dr.-Ing. *Manfred Richter* und Dipl.-Ing. *Wolfgang Schulze* sind Mitarbeiter im Bereich Technik des VEB Elektromaschinenbau Sachsenwerk.

EA 5278

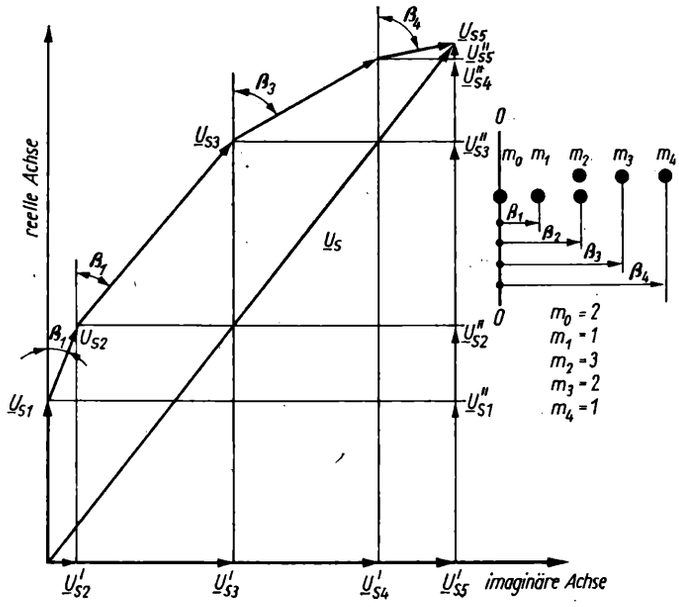


Bild 1. Diagramm der Spannungszeiger für eine gesehnte Wechselstromwicklung ($q_1 = 3$, zweischichtig) mit unsymmetrischer Wicklungsverteilung

Wicklungsanordnung	Verteilung der Leiter oder Stäbe innerhalb der Wicklungszone	
	symmetrisch	unsymmetrisch
$m_1\ m_2\ m_3\ m_4\ m_5$	$m_0 = 2 \quad m_3 = 2$ $m_1 = 2 \quad m_4 = 2$ $m_2 = 4$	$m_0 = 2 \quad m_3 = 2$ $m_1 = 1 \quad m_4 = 2$ $m_2 = 4$
$m_0\ m_1\ m_2\ m_3\ m_4\ m_5\ m_6\ m_7\ m_8\ m_9$	$m_0 = 2 \quad m_5 = 4$ $m_1 = 0 \quad m_6 = 2$ $m_2 = 4 \quad m_7 = 4$ $m_3 = 2 \quad m_8 = 0$ $m_4 = 4 \quad m_9 = 2$	$m_0 = 1 \quad m_5 = 4$ $m_1 = 0 \quad m_6 = 2$ $m_2 = 2 \quad m_7 = 4$ $m_3 = 2 \quad m_8 = 0$ $m_4 = 4 \quad m_9 = 2$

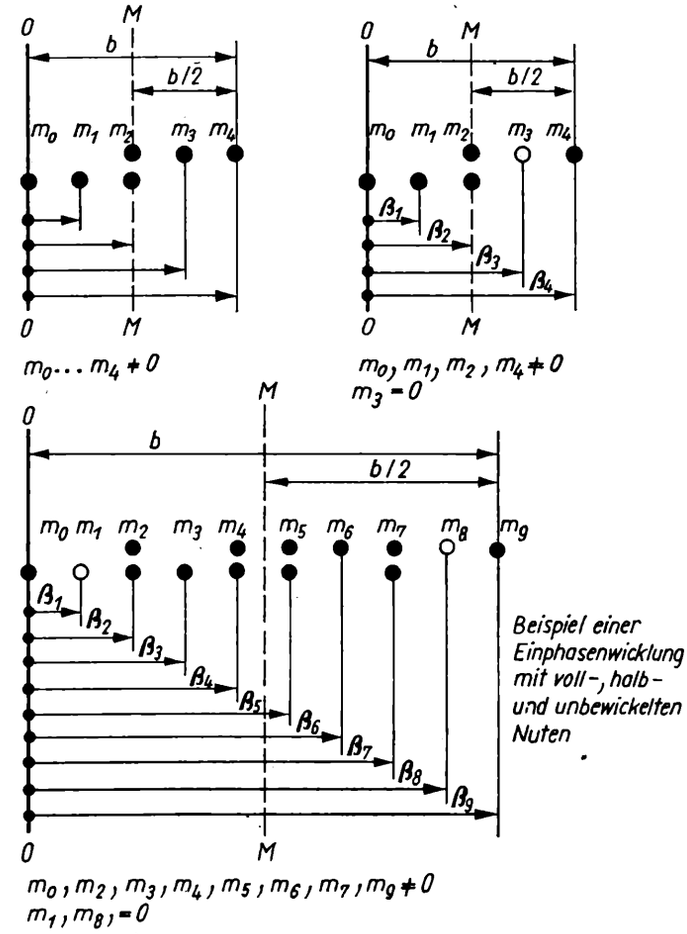


Bild 2. Wicklungsvarianten Lage der Ausgangslinie *OO*, Mittellinie *MM* und Winkelzählung

Bild 3. Wicklungsverteilung für symmetrische und unsymmetrische Wechselstromwicklungen (Beispiele)

Berechnung der Wicklungsfaktoren, insbesondere bei Wicklungen mit hohen Lochzahlen (z.B. Einphasenmaschinen für die Bahnstromversorgung) empfiehlt sich die Abarbeitung eines Rechenprogrammes mit Hilfe der maschinellen Rechentechnik.

2. Berechnungsverfahren

Liegt bei Wechselstromwicklungen (einschichtige oder zweischichtige Ganzlochwicklung) eine unsymmetrische oder symmetrische Verteilung der effektiven Leiter oder Stäbe in bezug auf eine gedachte Mittellinie, die den Abstand zwischen den äußersten Leitern oder Stäben der Wicklungszone eines Stranges halbiert, vor, so empfiehlt sich die Bestimmung des Wicklungsfaktors aus der Summe der reellen und imaginären Komponenten der Spannungszeiger dieser Leiter oder Stäbe.

Wie aus dem Zeigerdiagramm der Spulenseitenspannungen für ein konkretes Beispiel nach Bild 1 hervorgeht, ergeben sich die Beträge der Wicklungsfaktoren aus der Beziehung

$$\xi_\nu = \frac{|\underline{U}_S|}{\Sigma\,|\underline{U}_{Sk}|} = \frac{\sqrt{(\Sigma\,\underline{U}_{Sk}'')^2 + (\underline{U}_{Sl}')^2}}{\Sigma\,|\underline{U}_{Sk}|} = \frac{\sqrt{(\mathrm{Resum})^2 + (\mathrm{Imsum})^2}}{m_0 + \Sigma\,m_k} \tag{1}$$

$(k = 1, 2, 3, 4, \ldots; l = 2, 3, 4, \ldots)$

mit

$$\mathrm{Resum} = m_0 + m_1 \cos \nu\,\beta_1 + m_2 \cos \nu\,\beta_2 + m_3 \cos \nu\,\beta_3 + \cdots$$
$$= m_0 + \Sigma\,m_k \cos \nu\,\beta_k$$

$$\mathrm{Imsum} = m_1 \sin \nu\,\beta_1 + m_2 \sin \nu\,\beta_2 + m_3 \sin \nu\,\beta_3 + \cdots$$
$$= \Sigma m_k \sin \nu\,\beta_k$$

$$m_0 + \Sigma\,m_k = m_0 + m_1 + m_2 + m_3 + \cdots.$$

Bei Vorliegen einer Ständernutschrägung oder einer Polschrägung ist der Wicklungsfaktor ξ_ν mit dem Schrägungsfaktor

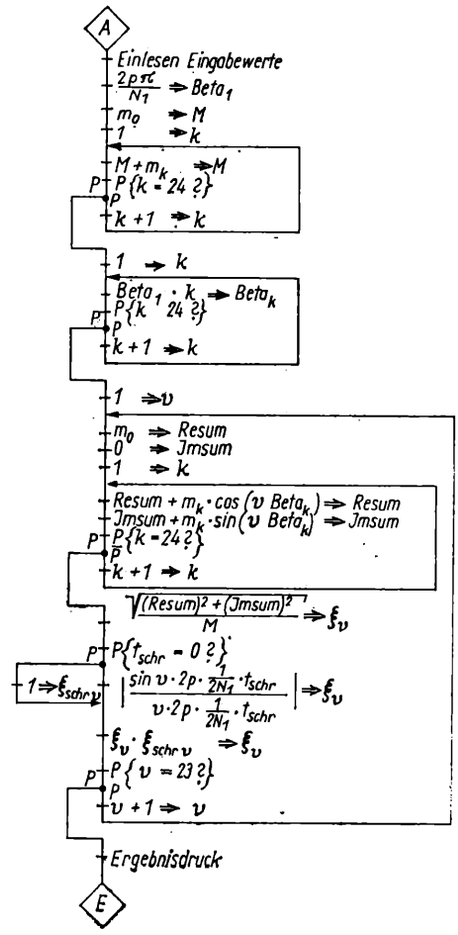
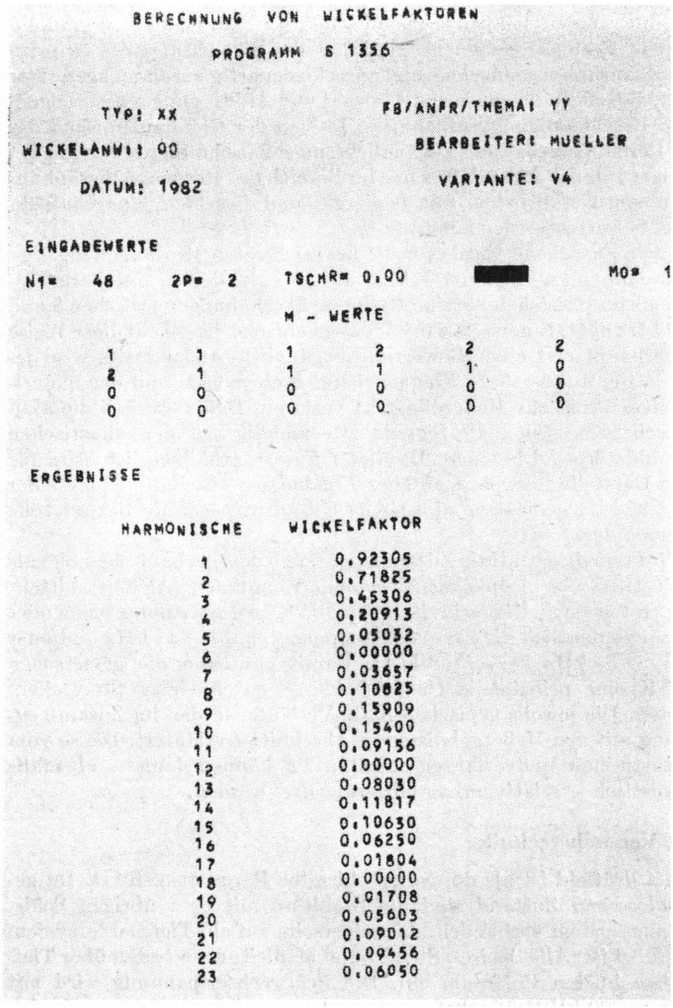


Bild 4. Flußbild zur Berechnung der Wicklungsfaktoren für Wechselstromwicklungen nach Pkt. 3



BERECHNUNG VON WICKELFAKTOREN

PROGRAMM S 1356

TYP: XX FB/ANFR/THEMA: YY

WICKELANW.: 00 BEARBEITER: MUELLER

DATUM: 1982 VARIANTE: V4

EINGABEWERTE

N1= 48 2P= 2 TSCHR= 0,00 [redacted] M0= 1

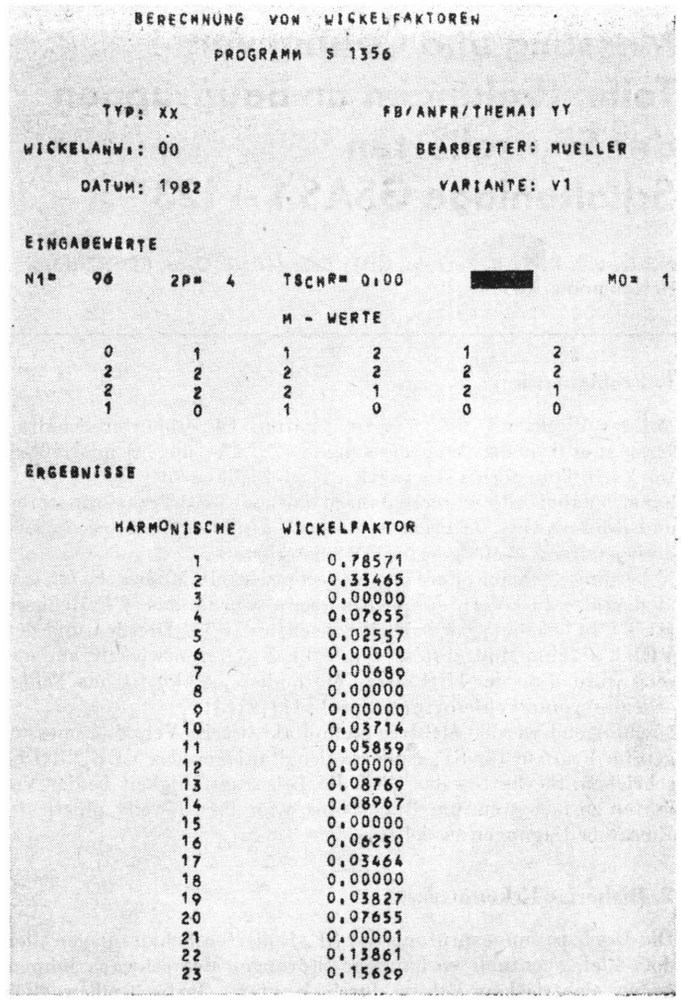
M - WERTE

1	1	1	2	2	2
2	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

ERGEBNISSE

HARMONISCHE	WICKELFAKTOR
1	0,92305
2	0,71825
3	0,45306
4	0,20913
5	0,05032
6	0,00000
7	0,03657
8	0,10825
9	0,15909
10	0,15400
11	0,09156
12	0,00000
13	0,08030
14	0,11817
15	0,10630
16	0,06250
17	0,01804
18	0,00000
19	0,01708
20	0,05603
21	0,09012
22	0,09456
23	0,06050

Bild 5. Rechnerausdruck für Wicklungsfaktoren einer ausgeführten Drehstromwicklung



BERECHNUNG VON WICKELFAKTOREN

PROGRAMM S 1356

TYP: XX FB/ANFR/THEMA: YY

WICKELANW.: 00 BEARBEITER: MUELLER

DATUM: 1982 VARIANTE: V1

EINGABEWERTE

N1= 96 2P= 4 TSCHR= 0,00 [redacted] M0= 1

M - WERTE

0	1	1	2	1	2
2	2	2	2	2	2
2	2	2	1	2	1
1	0	1	0	0	0

ERGEBNISSE

HARMONISCHE	WICKELFAKTOR
1	0,78571
2	0,33465
3	0,00000
4	0,07655
5	0,02557
6	0,00000
7	0,00689
8	0,00000
9	0,00000
10	0,03714
11	0,05859
12	0,00000
13	0,08769
14	0,08967
15	0,00000
16	0,06250
17	0,03464
18	0,00000
19	0,03827
20	0,07655
21	0,00001
22	0,13861
23	0,15629

Bild 6. Rechnerausdruck für Wicklungsfaktoren einer ausgeführten Einphasenwicklung

$$\xi_{Schr\,\nu} = \frac{\sin\left(\nu\, 2p \frac{1}{2N_1} t_{Schr}\right)}{\nu\, 2p \frac{1}{2N_1} t_{Schr}} \qquad (2)$$

zu multiplizieren.

Die Lage der Ausgangs- und Mittellinie und die Winkelzählung sind für ausgewählte Wicklungsvarianten im Bild 2 dargestellt.

Unter einer „unsymmetrischen" Wicklungsverteilung wird eine Wicklungsanordnung verstanden, bei der die effektiv wirksame Anzahl der Leiter oder Stäbe je Nut rechts und links zur Mittellinie MM unsymmetrisch verteilt ist, während eine „symmetrische" Verteilung einer Verteilungssymmetrie beiderseits der Mittellinie MM verlangt. Bild 3 verdeutlicht anhand von zwei ausgewählten Wicklungsanordnungen diese Definition.

Entsprechend der Definition des auf einen Strang bezogenen Wicklungsfaktors sind grundsätzlich alle Harmonischen dieses Faktors existent. Zu beachten ist jedoch, daß

- sich bei symmetrischer Wicklungsverteilung symmetrische Feld- bzw. Felderregerkurven ergeben, damit Harmonische mit gerader Ordnungszahl entfallen und deshalb Wicklungsfaktoren mit gerader Ordnungszahl nicht von Interesse sind.
- sich bei unsymmetrischer Wicklungsverteilung unsymmetrische Feld- bzw. Felderregerkurven ergeben und als Folge davon neben Harmonischen ungerader auch solche mit gerader Ordnungszahl auftreten. In diesem Falle interessieren Wicklungsfaktoren aller ν-Werte.
- für Drehstromwicklungen bei Sternschaltung der drei Wicklungsstränge infolge des bestehenden Verkettungsmechanismus alle Wicklungsfaktoren, deren Ordnungszahlen durch drei teilbar sind, für das Schaltungssystem entfallen.
- bei Zweischichtwicklungen durch entsprechende Wahl der Sehnung Wicklungsfaktoren der verschiedensten Ordnung zu Null werden können.
- bei Einphasenmaschinen mit 2/3-Bewicklung des Ständers alle Wicklungsfaktoren, deren Ordnungszahlen durch drei teilbar sind, zu Null werden.

3. Rechenprogramm

Einen Vorschlag zur rechnergestützten Ermittlung der Wicklungsfaktoren nach Pkt. 3 zeigt das Flußbild nach Bild 4.

Zur Minimierung des Programmaufwandes werden die Wicklungsfaktoren aller Ordnungszahlen bis einschließlich $\nu = 23$ berechnet und ausgedruckt. Je nach Wicklungsanordnung bzw. Wicklungsverteilung, Wicklungsart und Schaltungsausführung sind die interessierenden Faktoren unter Beachtung der in Pkt. 3 angegebenen Hinweise manuell auszuwählen bzw. ergeben sich zu Null.

Die Wicklungszone eines Stranges wurde willkürlich auf 24 Nutteilungen beschränkt ($k = 24$), so daß damit auch Wicklungen von Einphasenmaschinen größerer Leistung erfaßt werden.

Als Eingabewerte sind notwendig: N_1, $2p$, t_{Schr}, m_0, m_1 bis m_{24} (Für nichtbelegte Nuten ist für $m = 0$ zu setzen)

Für je eine praktisch ausgeführte Drehstrom- und Einphasenwicklung zeigen die Rechnerausdrucke nach Bild 5 und 6 die berechneten Wicklungsfaktoren nach vorgegebenem Verfahren.

Literatur

[1] *Sequenz, H.:* Die Wicklungen elektrischer Maschinen. Band 1. Wechselstrom-Ankerwicklungen. Wien: Springer-Verlag 1950

EA 5206

Messung und Ortung von Teilentladungen an Baugruppen der SF_6-isolierten Schaltanlage GSAS 1 – 123

J. Schwarz, KDT; K. Petzold, KDT, Dresden; F. Otto, KDT, Zittau; H. Neumann, KDT, Berlin

1. Problematik

Bei der Werksend- und Vor-Ort-Prüfung SF_6-isolierter Schaltanlagen sind Teilentladungsmessungen (*TE*-Messungen) unerläßlich. Im VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin (TRO) hat sich dabei seit mehreren Jahren das vom VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden (TuR) produzierte breitbandige *TE*-Meßgerät MUT 8 bewährt.
Neuerdings stehen weitere und weiterentwickelte Meßmethoden bzw. Meßgeräte zur Verfügung. Einerseits wurde das *TE*-Meßgerät MUT 8 in Gemeinschaftsarbeit zwischen der TU Dresden und dem VEB TuR zum Meßgerätesystem MTE 3 weiterentwickelt, andererseits wurden an der IHS Zittau Methoden zur akustischen Fehlererkennung und Fehlerortung erprobt [1] [2] [3].
Nachfolgend werden elektrische und akustische Vergleichsmessungen im Prüffeld für SF_6-isolierte Schaltanlagen des VEB TRO beschrieben. Sie hatten das Ziel, die Leistungsfähigkeit beider Verfahren zu bewerten, um Rückschlüsse für ihre jeweils günstigsten Einsatzbedingungen zu ziehen.

2. Bisherige Erkenntnisse

Die Hochspannungsprüfung der SF_6-isolierten Schaltanlagen dient dem Ziel, eventuell vorhandene Störungen des schwach inhomogenen elektrischen Feldes durch Kanten, Grate, freibewegliche Partikeln, Montagefehler usw. mit hoher Sicherheit aufzufinden, da sie ggf. das Isoliervermögen der Schaltanlage erheblich beeinflussen können. Für die hier zu beschreibenden Vergleichsmessungen wurden solche definierten Störstellen in die Isolierung eingebracht, die für Fertigungsfehler typisch sind und deren Entladungsverhalten bereits bekannt ist [4] [5]. Eine kurze Zusammenfassung hier interessierender bisheriger Untersuchungsergebnisse soll den eigentlichen Meßergebnissen nochmals vorangestellt werden. („Störstellenkatalog") [6] [7].

2.1. Elektrische TE-Messungen

In [5] [6] liegen systematische Untersuchungen des *TE*-Verhaltens von SF_6-Isolierungen unter dem Einfluß von ortsfesten Störstellen und freibeweglichen leitfähigen Partikeln und in [5] überblicksmäßig auch von am Abstandshalter haftenden Partikeln vor. Für die Messungen wurde ein Funktionsmuster des MTE 3 eingesetzt. Damit erhaltene und für die Vergleichsmessungen interessierende Ergebnisse zeigt Tafel 1. Weitere Merkmale des *TE*-Verhaltens einzelner Störstellenarten sind z. B. [5] [6] [7] zu entnehmen. Die Messung von *TE*-Kenngrößen wird zur Beurteilung der Störstellenart sinnvoll durch Oszillogramme, z. B. der Prüfspannung und der maximalen Impulsladung, ergänzt. Treten verschiedene Störstellenarten gleichzeitig auf, so können sie dennoch unter Einbeziehung der Ergebnisse aus [8] mit Hilfe der elektrischen breitbandigen *TE*-Meßtechnik einzeln aufgelöst und identifiziert werden.

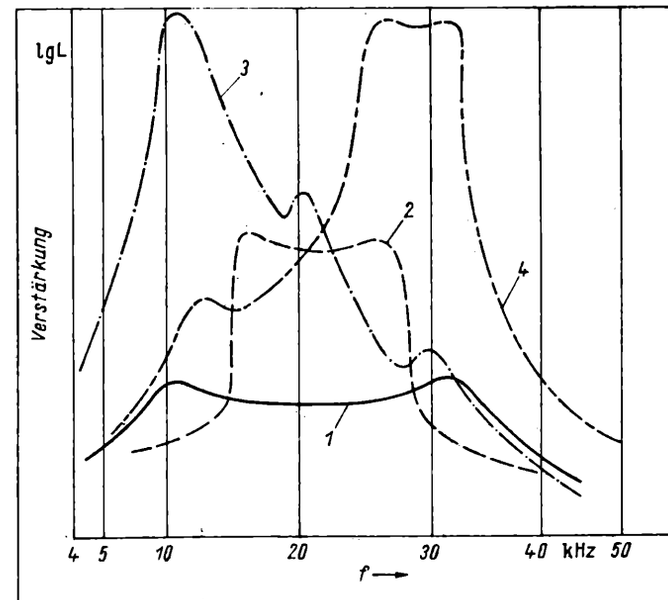
2.2. Akustische TE-Messungen

Innerhalb der SF_6-Isolierung ablaufende *TE*-Prozesse führen zu örtlichen Dichteänderungen im Isoliergas. Jede — bedingt durch die geringe Intensität der *TE*-Vorgänge — auch nur schwache örtliche Dichteänderung wird vom Isoliergas druckabhängig übertragen und kann daher mit Hilfe spezieller Beschleunigungsaufnehmer an der Gefäßaußenwand erfaßt werden. So dienten umfangreiche Voruntersuchungen zunächst der Ermittlung des Schwingungsverhaltens einzelner und verschiedenartig zusammengesetzter GSAS-Gefäßteile sowie zur Auswahl und Anbringung eines geeigneten Beschleunigungsaufnehmers. Das an der Gefäßaußenwand der weiteren Verarbeitung zugängliche mechanische Signal ist von geringer Intensität, so daß es nur im Bereich der Resonanzüberhöhungen von Gefäßsystem mit Isoliergas und Beschleunigungsaufnehmer bewertet werden kann.
Davon ausgehend wurde für die beabsichtigten Messungen der Beschleunigungsaufnehmer KD 23 ausgewählt, dessen nutzbare Frequenz im Bereich der ersten Resonanzüberhöhungen zwischen 8 und 40 kHz liegt. Einerseits wird das mechanische Signal auf diese Weise überhaupt erst einer Bewertung zugänglich, andererseits wird jedoch der auswertbare Frequenzbereich eingeengt, und der quantitative Bezug zur Meßgröße geht verloren. Daher werden die akustisch gemessenen *TE*-Signale zweckmäßig auf den akustischen Grundstörpegel bezogen. Da dieser frequenzabhängig ist, wird für die Darstellung experimenteller Ergebnisse (Abschnitt 4.) stets der bei 32 kHz gemessene akustische Grundstörpegel als Bezugsgröße verwendet.
Wird nun die spektrale Zusammensetzung des mechanischen Signals mit Hilfe von Amplituden-Frequenz-Kennlinien (AFK) ermittelt, so treten nach Überschreiten der *TE*-Einsetzspannung mehr oder weniger deutlich die Frequenzkomponenten 8 ··· 11 kHz und/oder 30 ··· 35 kHz hervor (Bild 1). Damit gestatten die gemessenen AFK eine prinzipielle Unterscheidung verschiedener Störstellenarten. Die jeweils typischen AFK-Verläufe werden im Zusammenhang mit den Meßergebnissen in Abschnitt 4 erläutert. Die so vom akustischen Meßverfahren erfaßten *TE* können dann — ebenfalls akustisch — relativ unkompliziert geortet werden.

3. Versuchstechnik

Das Prüffeld ist als doppeltgeschirmter Raum ausgeführt. Im geschlossenen Zustand sind die Stahltore mit dem übrigen Schirmungssystem verbunden, das seinerseits auf ein Tiefenerdersystem geführt ist. Alle Speise-, Steuer- und Meßleitungen treten über Tiefpässe in den Prüfraum ein. Die Prüfwechselspannung wird mit einem 700-kV-Prüftransformator erzeugt.
Der Meßkreis zur elektrischen *TE*-Messung wurde wie im Bild 2 angegeben realisiert. Die Meßimpedanz befand sich in der Erdleitung des Prüflings. Stochastisch auftretende impulsförmige Störungen wurden in einfacher Weise mit Hilfe der internen Störsignalunterdrückung des MTE 3 beherrscht [2]. Damit war für die sehr breitbandigen elektrischen *TE*-Messungen ein Grundstörpegel von nur 0,1 pC nachweisbar.

Bild 1. Qualitativer Verlauf der AFK bei verschiedenen Störstellenarten

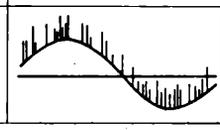
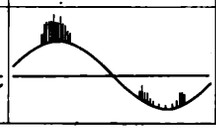
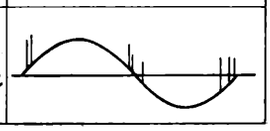


1 ortsfeste Störstelle auf der Innenelektrode
2 ortsfeste Störstelle auf der Außenelektrode
3 auf dem Abstandshalter angelagerte Partikel
4 freibewegliche Partikeln

Dr.-Ing. *Jochen Schwarz* ist wissenschaftlicher Oberassistent und Dipl.-Ing. *Klaus Petzold* ist wissenschaftlicher Assistent im Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden. Dipl.-Ing. *Frank Otto* ist Forschungsstudent an der Sektion Elektroenergieversorgung der IHS Zittau und Ing. *Harry Neumann* ist Leiter des GSAG – Prüffelds im VEB TRO Berlin.
Die Arbeit ist ein Beitrag zur Sitzung des CIGRE-SC 23 in Bukarest 1983.
Die Autoren danken der FKG ELTRA, dem Institut für Energieversorgung Dresden und dem VEB TRO Berlin für die Förderung der Untersuchungen.

Tafel 1. TE-Kenngrößen verschiedener Störstellen bei Wechselspannung

Tafel I: TE-Kenngrößen verschiedener Störstellen bei Wechelspannung

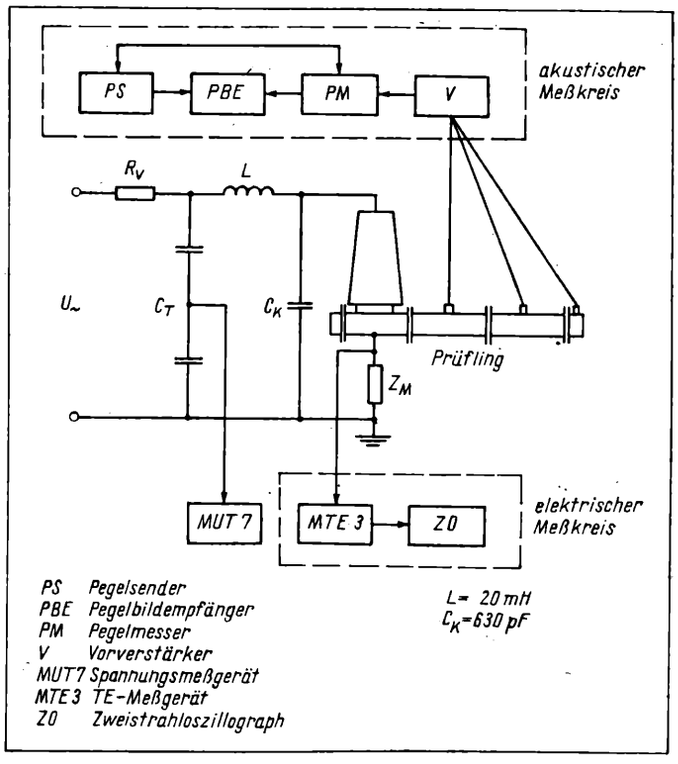
TE-Kenngröße	freibewegliche Partikeln	ortsfeste Störstelle (auf der Innenelektrode)	am Abstandshalter haftende Partikel
TE-Einsetzspannung U_i	$U_{i-} = U_{i+}$ $U_i \neq f(p_{20})$	$U_{i-} \approx (0{,}5 \ldots 1)\, U_{i+}$ $U_i = f(p_{20})$ $p_{20} \uparrow \Rightarrow U_i \uparrow$	$U_{i+} \approx U_{i-}$ $U_i = f(p_{20})$ $p_{20} \uparrow \Rightarrow U_i \uparrow$
TE-Aussetzspannung U_e	$U_{e-} = U_{e+}$ $U_e \neq f(p_{20})$	$U_{e-} \approx (0{,}5 \ldots 1)\, U_{e+}$ $U_e = f(p_{20})$ $p_{20} \uparrow \Rightarrow U_e \uparrow$	$U_{e+} \approx U_{e-}$
U_e / U_i	0,4 ... 1	1	1
max. Impulsladung Q_I	$Q_{I-} \approx (0{,}5 \ldots 0{,}9)\, Q_{I+}$	$Q_{I-} < Q_{I+}$	
Intensität bzgl. Mittelwert	stark schwankend	schwach schwankend	
Oszillogramm nach dem TE-Einsatz u (t) q (t)			

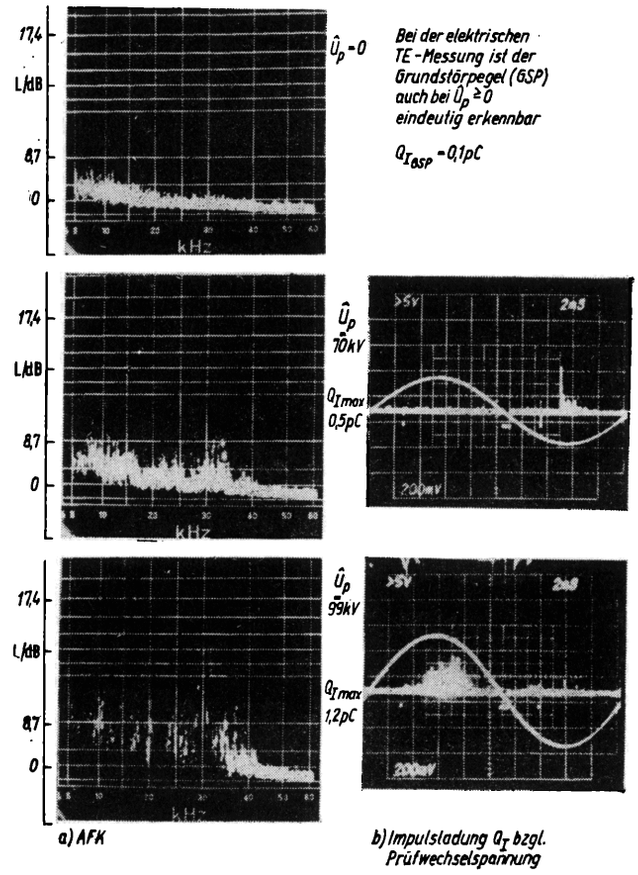
Tafel 2. Versuchsergebnisse

Störstellenart		elektrische Messung P_{20} (MPa)	$\hat{U}_i$ (kV) +	$\hat{U}_i$ (kV) −	$\hat{U}_e$ (kV) +	$\hat{U}_e$ (kV) −	$Q_{I\,max}$ (pC)	akustische Messung $\hat{U}_i$ (kV)
Ortsfeste Störstelle auf Innenelektrode (Stahlnadel)	$l_s = 5$ mm	0,1	42	28	42	28	3,5	35
		0,28	73	59	73	59	2,5	63
	$l_s = 3$ mm	0,1	78	56	78	56	1,5	70
		0,28	141	92	141	92	1,2	106
10 Partikel (Al) ($l_p = 10$ mm; $D_{mr} = 0{,}5$ mm)		0,28	141 ··· 184		42 ··· 56		50 ··· 70	141 ··· 184
1 Partikel (auf Abstandshalter angelagert) ($l_p = 10$ mm; $D_{mr} = 0{,}5$ mm)		0,28	70 ··· 78				120	120

Bild 3. Ortsfeste Störstelle auf der Innenelektrode ($p_{20} = 0{,}28$ MPa; Spitzenlänge $l_s = 5$ mm)

Bild 2. Meß- und Prüfkreis





Die akustische *TE*-Messung erfolgte durch Analyse der spektralen Zusammensetzung (AFK) des Schwingungssignals. Dazu bewährte sich bei bisherigen Messungen (vgl. Abschn. 2.2.) ein Verfahren zur Schmalbandanalyse. Zur Aufnahme der AFK wurde ein industriell gefertigter Pegelmeßplatz eingesetzt (Bild 2), wobei der Pegelsender zur Steuerung des Frequenzdurchlaufs und der Pegelmesser als Hauptverstärker dient. Zur Bestimmung der *TE*-Einsetzspannung mit Hilfe dieses Meßplatzes wurde ausschließlich der Pegel der 8 bzw. 32 kHz-Komponente des erfaßten Schwingungssignals bewertet. Als Prüfling dienten Sammelschienenabschnitte mit trichterförmigen Abstandshaltern der im VEB TRO Berlin hergestellten SF_6-isolierten Schaltanlage GSAS 1-123. Die Hochspannungszuführung erfolgte über eine 123-kV-SF_6-Luft-Durchführung (Bild 2). Tafel 2 gibt eine Übersicht zu den in die Isolierung eingebrachten Störstellennachbildungen.

4. Experimentelle Ergebnisse

4.1. Ortsfeste Störstelle auf der Innenelektrode

Wird die Prüfwechselspannung ausgehend von $U = 0$ kV kontinuierlich gesteigert, treten bei der *TE*-Einsetzspannung U_i im Maximum der negativen Halbwelle an der Störstelle erste impulsförmige Streamerentladungen auf, die sowohl elektrisch als auch akustisch erfaßbar sind (Bild 3)[1]). Jedoch unterscheiden sich die gemessenen Einsetzspannungen U_i abhängig vom Meßprinzip geringfügig (Tafel 2). So werden ortsfeste Störstellen insbesondere bei kleinen Gasdrücken ($p_{20} = 0{,}1$ MPa) elektrisch bereits bei geringeren Spannungen erfaßt (Nachweisgrenze 0,1 pC) als mit der akustischen Methode.
Mit größeren Isoliergasdrücken verbessert sich naturgemäß das akustische Übertragungsverhalten der Gasstrecke, so daß sich bei den technisch wohl wichtigeren höheren Isoliergasdrücken (z. B. $p_{20} = 0{,}28$ MPa) die nach beiden Verfahren gemessenen Einsetzspannungen U_i nur noch geringfügig voneinander unterscheiden (Tafel 2).
Die elektrische *TE*-Messung gestattet bereits im Bereich der *TE*-Einsetzspannung eine Identifikation der Störstellenart (z. B. hier an der Innenelektrode, da *TE*-Impulse im Maximum der negativen Halbwelle einsetzen). Hingegen muß bei akustischen Messungen die Spannung deutlich über die *TE*-Einsetzspannung hinaus gesteigert werden, um die Störstellenart bestimmen zu können. Wegen der relativ ähnlichen Ausprägung der AFK für ortsfeste Störstellen an der Innen- bzw. Außenelektrode (Bild 1) wird eine genaue Lokalisierung des Störstellenortes (noch dazu bei normalerweise unbekannter Störstellenlänge) erschwert.
Wird die Spannung über die *TE*-Einsetzspannung hinaus gesteigert, so intensivieren sich die Entladungsprozesse und führen daher zu immer größeren Schwingungspegeln (Bild 3). Um die dabei ablaufenden elektrischen Entladungsvorgänge zu verdeutlichen, wurden für markante Spannungswerte den Oszillogrammen der AFK diejenigen der Prüfspannung und maximalen Impulsladung zugeordnet (Bild 3). Übereinstimmend mit [5] [6] [7] vergrößert sich kurz oberhalb der *TE*-Einsetzspannung zunächst die Anzahl der Impulse und deren maximale Impulsladung in der negativen Halbwelle. Bei weiterer Spannungssteigerung vermindert sich zunächst jedoch der impulsförmige *TE*-Anteil zugunsten des nun anwachsenden und vom MTE 3 nicht erfaßten impulslosen Anteils am *TE*-Strom bis schließlich auch in der positiven Halbwelle impulsförmige *TE* einsetzen (Bild 3).

4.2. Freibewegliche leitfähige Partikeln

Bei stetiger Spannungssteigerung bleiben die 10 auf der Außenelektrode liegenden Zylinderpartikeln so lange in Ruhe, bis sie sich bei Erreichen der Bewegungseinsetzspannung aufzurichten beginnen [9], dabei noch Kontakt zur Außenelektrode (Kapselungswand) haben und bereits *TE*-Prozesse auslösen [5]. Die sofort mit dem Bewegungseinsatz beginnenden *TE* sind elektrisch meßbar und als stochastisch über die gesamte Periode verteilte Ladungsimpulse im Oszillogramm zu beobachten (Bild 4). Die maximale Impulsladung liegt etwa um den Faktor 10 höher als bei einer einzelnen ortsfesten Störstelle vergleichbarer Länge an der Innenelektrode. Beide Kriterien ermöglichen die sichere Erkennung der Störung als freibewegliche Partikeln.

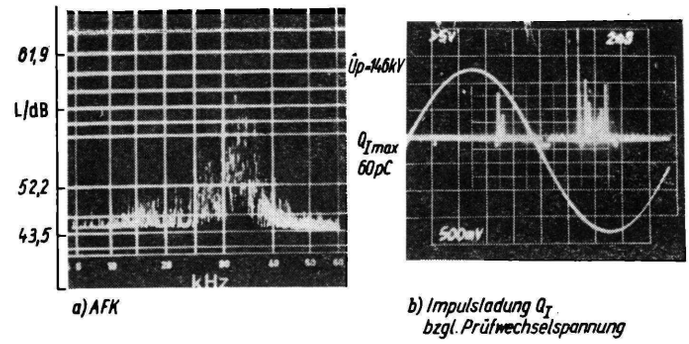


Bild 4. Freibewegliche Partikeln

Die Bewegungs- und *TE*-Vorgänge laufen bei der *TE*-Einsetzspannung in unmittelbarer Nähe der Außenelektrode ab. Wegen der direkten mechanischen Impulse beim Berühren der Kapselung durch die Partikeln und einer sonst nur sehr kurzen Gasstrecke zwischen Kapselung und Partikeln, gestaltet sich auch das akustische Übertragungsverhalten günstig. Das äußert sich in einem nun mehr als 40 dB höheren Signalpegel (Bild 4) im Vergleich zur ortsfesten Störstelle auf der Innenelektrode und in für beide *TE*-Meßverfahren übereinstimmend gemessenen *TE*-Einsetzspannungen (Tafel 2). Die Partikelbewegung verursacht ferner in Verbindung mit den mechanischen Schwingungseigenschaften der Kapselung und des Beschleunigungsaufnehmers eine Verlagerung des akustischen Signalpegels in den Bereich > 20 kHz (Bilder 1 und 4). Höherer Signalpegel und charakteristischer Verlauf der AFK lassen daher eine sichere Unterscheidung freibeweglicher von ortsfesten Störstellen zu.

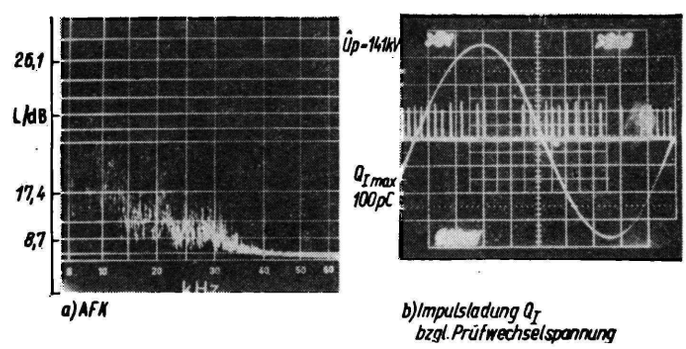
4.3. Leitfähige Partikeln auf dem Abstandshalter

Freibewegliche leitfähige Partikeln können im Verlauf ihrer stark zufälligen Partikelbewegung [9] in die Nähe von Abstandshaltern gelangen, an deren Grenzfläche haften bleiben und damit die Überschlagspannung gefährlich vermindern [6]. Zur Nachbildung einer so verunreinigten Grenzfläche wurde analog [5] ein Aluminium-Zylinderpartikel etwa 2 mm entfernt von der Innenelektrode auf der Oberfläche eines konischen Abstandshalters angebracht.
Mit Hilfe der elektrischen *TE*-Messungen konnte für diese Anordnung der Entladungseinsatz am Meßgerät und anhand der typischen einzelnen und gleichzeitig in beiden Nulldurchgängen einer Wechselspannungsperiode einsetzenden *TE*-Impulse (Bild 5, Tafel 1) bei deutlich kleineren Spannungen erkannt werden als mit dem akustischen *TE*-Meßverfahren (Tafel 2). Ursache dafür ist die starke schwingungsdämpfende Wirkung des Abstandshalters, der die akustischen Übertragungseigenschaften der Anordnung und damit die Empfindlichkeit des akustischen Verfahrens gegenüber am Abstandshalter haftenden Partikeln stark vermindert. Der Abstandshalter dämpft jedoch vorwiegend höhere Frequenzen. Daher überwiegen nach weiterer Prüfspannungserhöhung bis zum auch akustisch meßbaren *TE*-Einsatz in den AFK die Frequenzkomponenten < 20 kHz (Bild 5).

4.4. Ortung und Störstellen

Die zuverlässige, gefäßgenaue Ortung möglicher Störstellen bestimmt wesentlich den Umfang erforderlicher Revisionsarbeiten bei der Fertigung und Inbetriebnahme von SF_6-isolierten Schaltanlagen. Durch anlagenintegrierte Schaltgeräte und/oder Ausnutzung der galvanischen Trennung von Gefäßsektionen kann eine

Bild 5. Partikel auf dem Abstandshalter angelagert



[1]) Das Raster des Pegelbildempfängers ist – wie bislang in der Nachrichtentechnik üblich – in Neper eingeteilt. Die Umrechnung in die inzwischen gebräuchliche Einheit Dezibel erfolgt gemäß 1 Np = 8,686 dB.

Störstelle bei der elektrischen *TE*-Messung zwar weiter eingegrenzt, jedoch noch nicht gefäßgenau geortet werden. Diese Lücke versucht ein an der Ingenieurhochschule Zittau entwickeltes Gerät [10] [11] zur Pegelbewertung ausgewählter Frequenzen zu schließen. Die damit bisher erzielten Ergebnisse weisen aus, daß eine einmal akustisch erfaßte *TE* stets auch gefäßgenau geortet werden kann. Bild 6 veranschaulicht einige Ergebnisse für eine ortsfeste Störstelle auf der Innenelektrode [12]. Sowohl die elektrische Grobortung als auch die akustisch mögliche Feinortung setzen ausreichende Meßerfahrungen der Anwender voraus.

5. Schlußfolgerungen

Das *TE*-Meßgerät MTE 3 bewährt sich unter Prüffeldbedingungen zur sicheren Erkennung und Klassifikation von einzelnen und — wie in [8] gezeigt — verschiedenen gleichzeitig auftretenden Störstellen. Die Möglichkeit der elektrischen Ortung von Störstellen beim GSAS 1-123 wird durch die Größe der voneinander isolierten oder durch Schaltgeräte getrennten Gefäßabschnitte bestimmt. Aufgrund der erwiesenen Wirksamkeit der internen Störungsunterdrückung ist vorgesehen, das MTE 3 auch unter komplizierten Bedingungen der Störbeeinflussung (Vor-Ort-Prüfungen) zu erproben.

Das akustische *TE*-Meßverfahren eignet sich physikalisch bedingt nur in gewissen Grenzen zur Erkennung und Klassifikation *einzelner* Störstellen. Es ist besonders bei Inbetriebnahmeprüfungen u. U. eine Alternative, auf jeden Fall aber eine für Hersteller wie Anwender SF_6-isolierter Schaltanlagen wertvolle Ergänzung zur elektrischen *TE*-Messung, zumal es die gefäßgenaue Ortung einmal erfaßter Störstellen ermöglicht. Wegen der physikalisch nicht möglichen Zuordnung von akustischen zu elektrischen *TE*-Kenngrößen ist jedoch bei alleiniger Anwendung des akustischen Verfahrens keine Aussage zur Einhaltung bestimmter *TE*-Pegel ableitbar.

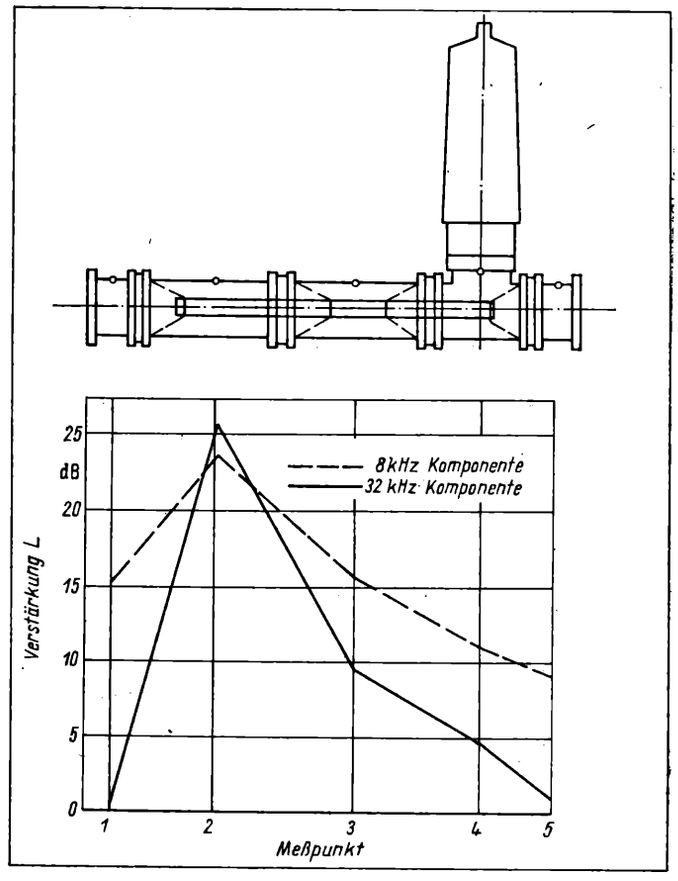


Bild 6. Akustische Ortung einer ortsfesten Störstelle auf der Innenelektrode ($\hat{U}_p$ = 99 kV)

Literatur

[1] *Hauschild, W.; Küttner, H.; Thümmler, K.:* Systeme zur breitbandigen Messung von Teilentladungen in Hochspannungsisolierungen, ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 353 – 357

[2] *Lemke, E.:* Ein neues Verfahren zur Messung von Teilentladungen an langen Hochspannungskabeln. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 358 – 360

[3] *Ambrosch, H.; Gorgius, D.; Hippmann, N.:* Teilentladungserfassung und -ortung in SF_6-isolierten Hochspannungsschaltanlagen unter Anwendung der Rauschanalyse. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 2, S. 63 – 67

[4] *Schierig, S.; Jahn, H.:* Teilentladungserscheinungen in SF_6-Modellisolierungen mit ortsfesten und freibeweglichen Störstellen bei Wechselspannung, ELEKTRIE, Berlin 33 (1979) 2, S. 85 – 88

[5] *Schierig, S.:* Über Teilentladungen an freibeweglichen leitfähigen Partikeln in SF_6-Isolierungen. Diss. A, TU Dresden 1979

[6] *Mosch, W.; Hauschild, W.:* Hochspannungsisolierungen mit Schwefelhexafluorid. Berlin: VEB Verlag Technik/1979

[7] *Hauschild, W.; Jahn, H.; Mosch, W.; Lemke, E.; Speck, J.:* Auswahl von Hochspannungsprüfungen für SF_6-isolierte Systeme aus technischer und physikalischer Sicht (engl.). Internat. Konferenz über gasförmige Dielektrika Knoxville (USA), Bericht 63 (1982)

[8] *Jahn, H.; Petzold, K.:* TE-Verhalten von SF_6-Isolierungen bei gleichzeitig auftretenden freibeweglichen, ortsfesten und an Grenzflächen haftenden Störstellen (in Vorbereitung zur Veröffentlichung in der Fachzeitschrift ELEKTRIE)

[9] *Berthold, V.:* Experimentelle Untersuchungen zum Einfluß freibeweglicher, leitfähiger Partikeln auf die Durchschlagsspannung von SF_6-Isolierungen. Diss., TU Dresden 1978

[10] *Leistner, M.:* Verfahren und Schaltungsanordnung zur schmalbandigen Erfassung von akustischen Signalen. DDR-Patent, WP GO 1N/225372

[11] *Grosche, H.-J.; Otto, F.:* Gerät zur Erfassung und Ortung von Teilentladungen in gasisolierten Schaltanlagensystemen (zur Veröffentlichung vorgesehen in Wiss. Berichte der Ingenieurhochschule Zittau)

[12] *Ambrosch, H.; Gorgius, D.:* Diagnostik in Schaltanlagen zur Vermeidung von Störlichtbögen. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 11, S. 581 – 584

EA 5339

Soeben erschienen im VEB Verlag Technik

Zuverlässigkeit und Instandhaltung

Von *F. Beichelt* und *P. Franken*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 1. Auflage. 316 Seiten, 98 Bilder, 25 Tafeln, Kunstleder, 44,—Mark. Bestell-Nr. 553 1956

Mit zunehmendem Grad der Automatisierung sowie der Komplexität der materiellen Produktion werden die wissenschaftliche Durchdringung der Zuverlässigkeitsarbeit sowie die Rationalisierung von Instandhaltungsprozessen objektive Erfordernisse. Einen wesentlichen Beitrag dazu leistet die mathematische Theorie der Zuverlässigkeit, der dieses Buch gewidmet ist. Folgende moderne, praktisch und theoretisch interessante Teilgebiete werden behandelt: Klassen von Lebensdauerverteilungen, statistische Verfahren, Modellierung von Sprung- und Driftausfallverhalten, Instandhaltungstheorie, monotone Systeme (Wichtigkeitsmaße), Zuverlässigkeitsanalyse von Netzstrukturen, Anwendung der Theorie zufälliger markierter Punktprozesse (Verfügbarkeitstheorie). Neben eigenen Arbeiten der Autoren und ihrer Mitarbeiter findet die internationale Fachliteratur Beachtung.

Das Studium des Buches erfordert Grundkenntnisse der Mathematik, insbesondere der Wahrscheinlichkeitstheorie, wie sie Studierenden technischer und ökonomischer Fachrichtungen geboten werden. Neben Ingenieuren, Ökonomen und Naturwissenschaftlern werden aber auch Mathematiker und Spezialisten auf dem Gebiet der Zuverlässigkeitstheorie das Buch mit Gewinn lesen.

Die Redaktion

Leipziger Frühjahrsmesse 1984

Erzeugnisse der Elektroindustrie der DDR

VEB Kombinat Elektroenergieanlagenbau

Elektroenergieanlagenbau mit Mikroelektronik und Systemlösungen

Die zuverlässige und verlustarme Übertragung und Verteilung der Elektroenergie steht im Mittelpunkt aller Anstrengungen der Elektroenergieanlagenbauer der DDR. Unter dem Warenzeichen „VEM" entwickeln und produzieren die in diesem Kombinat vereinigten 14 leistungsstarken Betriebe komplette Elektroenergieübertragungsanlagen, elektrotechnische Anlagen für Industrie, Landwirtschaft und Bauwesen sowie zahlreiche Einzelgeräte und -ausrüstungen für Elektroenergieübertragungs- und -verteilungsanlagen. Außerdem ist das Kombinat Elektroenergieanlagenbau einziger Produzent von Anlagen und Einrichtungen der Hochspannungsprüftechnik im RGW. Die zur Leipziger Frühjahrsmesse 1984 vorgestellten Exponate, darunter bemerkenswerte Neu- und Weiterentwicklungen, bieten einen interessanten Ausschnitt aus dem umfangreichen Leistungs- und Lieferprogramm und demonstrieren, wie sich die Elektroenergieanlagenbauer den Forderungen der 80er Jahre stellen.

Ein besonders markantes Beispiel dafür ist das **Schaltanlageninformationssystem Hochspannung,** mit dem die bisher eingesetzte, größtenteils noch auf elektromechanischen Wirkprinzipien beruhende Meß- und Steuertechnik durch eine neue Generation abgelöst wird, die durch den Einsatz der Mikroelektronik/Mikrorechentechnik zur Prozeßdatenverarbeitung und der Lichtwellentechnik zur Signalübertragung zwischen Hochspannungsfeld und Schaltwarte gekennzeichnet ist.

Dabei werden die in den einzelnen Hochspannungsfeldern parallel anstehenden Informationen dort aufbereitet, mittels Lichtwellenleiter dem jeweiligen Funktionsrechner zur Prozeßdatenvorverarbeitung übertragen und danach interessierende Informationen an den aus einem Mehrmikrorechnersystem bestehenden Wartenrechner weitergeleitet, über den die Kommunikation mit dem Bedienpersonal mit Hilfe von Color-Datensichtgeräten realisiert wird.

Die Steuerung erfolgt über Bedientastaturen vom Wartenpult aus in Form von Anwahlsteuerungen ebenfalls über redundant aufgebaute Lichtleitstrecken.

Der Modulcharakter des Systems sichert eine universelle, vom Schaltanlagentyp unabhängige Einsatzmöglichkeit und Austauschbarkeit.

Die Erhöhung des Automatisierungsgrades führt zu einer Senkung des Aufwandes für Bedienung und Wartung. Erhöhte Übersichtlichkeit durch Wegfall der Vielzahl von Kabelverbindungen, Ausschaltung der elektromagnetischen Störbeeinflussung, Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Selbstüberwachung und Fehlermeldung sowie Verringerung des Platzbedarfs (umbauter Raum) fallen gleichfalls wesentlich ins Gewicht. Der VEB Starkstrom-Anlagenbau Otto Buchwitz Dresden, der dieses System entwickelt hat, zeigt weiterhin **Hermetische Kabeldurchführungen** für die Übertragung von elektrischen Leistungen sowie von BMSR-Signalen durch die Sicherheitshülle von Kernkraftwerken. Diese Durchführungen gewährleisten bei einer garantierten Mindestlebensdauer von 30 Jahren u. a. die zuverlässige Leistungs- und Signalübertragung, doppelt hermetische Sicherheit in allen Betriebs- und Störfällen, Beständigkeit gegen Korrosion sowie Erdbebenfestigkeit und integrierten Strahlenschutz in Äquivalenz zur Sicherheitshülle.

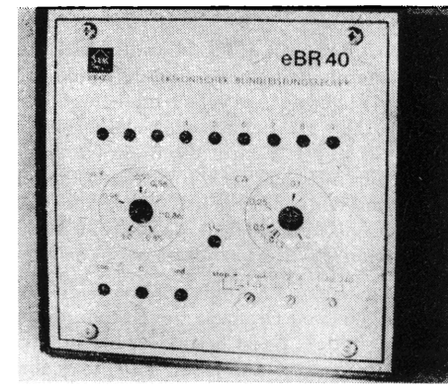


Bild 1. Elektronischer Blindleistungsregler eBR 40 aus dem VEB Elektro-Anlagenbau Zwickau

Immer mehr Erzeugnisse des DDR-Elektroenergieanlagenbaus zeichnen sich durch den Einsatz moderner Mikroelektronik aus und erreichen dadurch eine wesentliche Gebrauchswertsteigerung. Das gilt auch für die vorgestellten Varianten des **Elektronischen Blindleistungsreglers eBR 40** aus dem VEB Elektro-Anlagenbau Zwickau (Bild 1). Sie dienen der automatischen Erfassung und Regelung der Blindleistung in Drehstromnetzen und leisten einen wirksamen Beitrag zur möglichst verlustarmen Übertragung und zuverlässigen Beherrschung der Elektroenergie.

Bild 2. SF_6-Leistungsschalter (245 kV 50 kA)

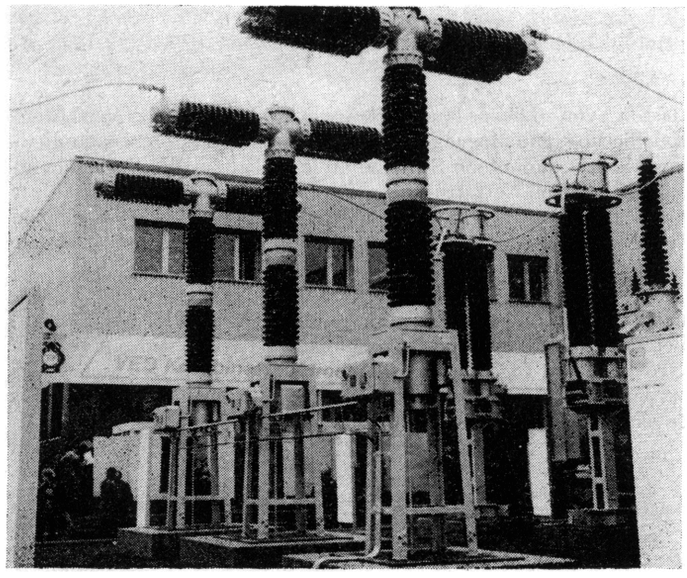
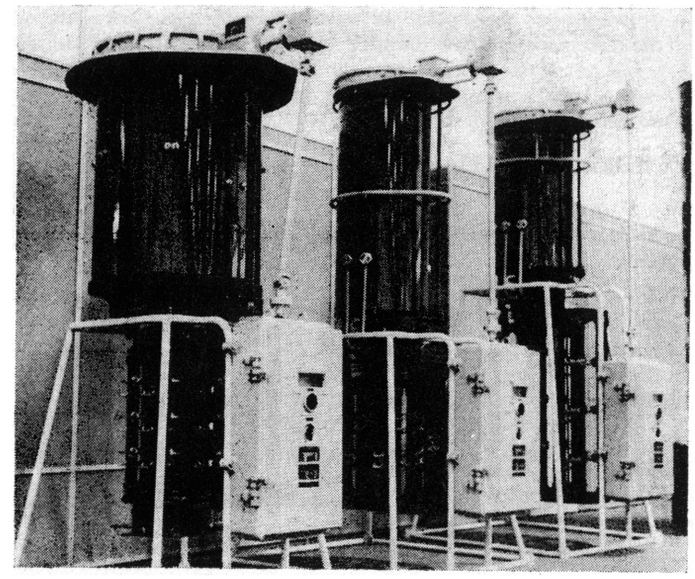


Bild 3. Hochleistungsschalter der Baureihe 3
(v. l. n. r.: Dreieck-Stufenschalter, Sternpunkt-Stufenschalter, Einphasen-Stufenschalter)



In diesem Zusammenhang verdient auch die neue Generation von **Niederspannungs-Kondensatorenanlagen mit Folienkondensatoren** von 75 ··· 900 kVar aus dem VEB Starkstrom-Anlagenbau Magdeburg besondere Beachtung. Bei ihnen handelt es sich um anschlußfertige ein- bis dreifeldige Schaltschrankkombinationen, in denen alle Funktionseinheiten integriert sind. Die eben genannten neuentwickelten Regler übernehmen bei ihnen die automatisch geregelte Blindleistungskompensation.

Folienkondensatoren sind selbstregenerierend mit geringer spezifischer Verlustleistung und ermöglichen über eine Erhöhung der Packungsdichte den Bau von größeren Feldeinheiten bei geringer Masse und geringem Platzbedarf. Sie gewährleisten die ökonomischen Vorteile der Blindleistungskompensation bei allen induktiven Verbrauchergruppen durch die bessere Ausnutzung elektrischer Anlagen, die Belastbarkeitserhöhung von Energieübertragungseinrichtungen sowie die Vermeidung größerer Spannungsabfälle.

Aufschlußreich für Entwicklungstendenzen im Elektroenergieanlagenbau sind auch die Exponate des VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin.

Aus der neuen Baureihe von SF_6-Leistungsschaltern für Nennspannungen von 123 bis 420 kV wird eine Modifikation für Bahnstrom-Unterwerke 123 kV, 16 2/3 Hz vorgestellt. Das verwendete Schwefelhexafluorid als Isolier- und Löschmedium sichert die Beherrschung hoher Nennausschaltströme im autopneumatischen Löschprinzip bei geräuscharmem Schalten, geringem Wartungsaufwand und hoher Betriebssicherheit (Bild 2). Auf der Grundlage seiner jahrzehntelangen Traditionen als Stufenschalterhersteller für den Transformatorenbau präsentiert der gleiche Betrieb ein neues **Stufenschalter-Baukastensystem**, dessen Hauptbaugruppen den Aufbau von 588 verschiedenen Stufenschaltertypen durch entsprechende Kombination gestatten und dadurch eine exakte Anpassung der Eigenschaften an die Beanspruchungen des jeweiligen Grenzleistungstransformators ermöglichen (Bild 3). Aus dem umfangreichen Transformatorenprogramm des Kombinates werden weiterentwickelte **Drehstrom-Öl-Transformatoren für Ortsnetze** gezeigt. Die Transformatoren der bewährten DOKa-Baureihe aus dem VEB Transformatorenwerk Reichenbach mit Nennleistungen von 50 bis 630 kVA für 50 °C und 800 kVA für maximal 40 °C bilden einen wesentlichen Teil der Ausrüstung für zuverlässige Verteilungsanlagen der Spannungsebenen 12 und 24 kV. Die mit Aluminiumwicklung und Kernen aus Texturblechen höchster Qualität ausgestatteten Transformatoren werden dem internationalen Trend entsprechend nunmehr mit Wellwandoberfläche vorgestellt. Diese Konstruktion bietet die wirksamste Kühlung und hat sich auch für den Anwender als günstigste Lösung erwiesen. Die jahrzehntelangen Erfahrungen im Einsatz von Aluminium im DDR-Transformatorenbau bewirken, daß sich die Transformatoren mit Al-Wicklungen in Hinsicht auf Betriebsverhalten, Abmessungen, Massen und Verluste Transformatoren mit Kupferwicklung auch unter extremen Betriebsbedingungen als ebenbürtig erweisen.

Mit ihnen werden auch die gleichfalls ausgestellten **Gittermast-Trafo-Stationen** ausgerüstet, die ihre guten Eigenschaften in vielen Ländern nachgewiesen haben.

Schließlich soll hier noch der Komplex Hochspannungsprüftechnik kurz vorgestellt werden.

TuR Dresden, Entwickler, Produzent und Generallieferant dieser Spezialtechnik, zeigt als Dominante vor der Halle 18 eine zweistufige Kaskade für die Erzeugung sehr hoher Wechselspannungen für Prüf- und Versuchsarbeiten an elektrischen Isolierungen, insbesondere den Bauelementen von Elektroenergieübertragungsanlagen.

Die **Prüfanlage 1500 kV/1 A** besteht aus zwei in Serie geschalteten 750-kV-Prüftransformatoren mit Stahlblechkesseln auf Mittelpotential und ist mit einem rechnerisch optimierten Elektrodensystem versehen, das leichter und wirksamer als die früheren ist (Bild 4).

Für den Aufbau von kleineren Prüfanlagen für Wechselspannung bis 100 kV sowie Gleichspannungen bis 270 kV wird ein **Hochspannungs-Baustein-System** angeboten, das auf der Basis von vier Grundvarianten eine universelle Nutzung von der hochspannungstechnischen Ausbildung über den Einsatz in Prüffeldern bis hin zu Vor-Ort-Prüfungen erlaubt. Übersichtlicher Aufbau, technische Parameter, schnelle Montierbarkeit, gute mechanische Stabilität, optimale Anpassung an eine bestehende Prüfaufgabe sowie gute Ergänzbarkeit zeichnen das neuentwickelte System aus. Für viele Anwendungsgebiete interessant ist auch die originelle Lösung der **Elektrodenbaukästen** für den Aufbau verschiedenartiger Hochspannungselektroden.

Die Optimierung moderner Hochspannungsisolierungen führt durch die Nutzung der schwach inhomogenen elektrischen Felder zu immer geringeren Isolierabständen. Auch in der Hochspannungsprüftechnik führen durch moderne Elektrodenlösungen erzeugte schwach inhomogene elektrische

Bild 4. Wechselspannungs-Prüfanlage (1500 kV 1 A)

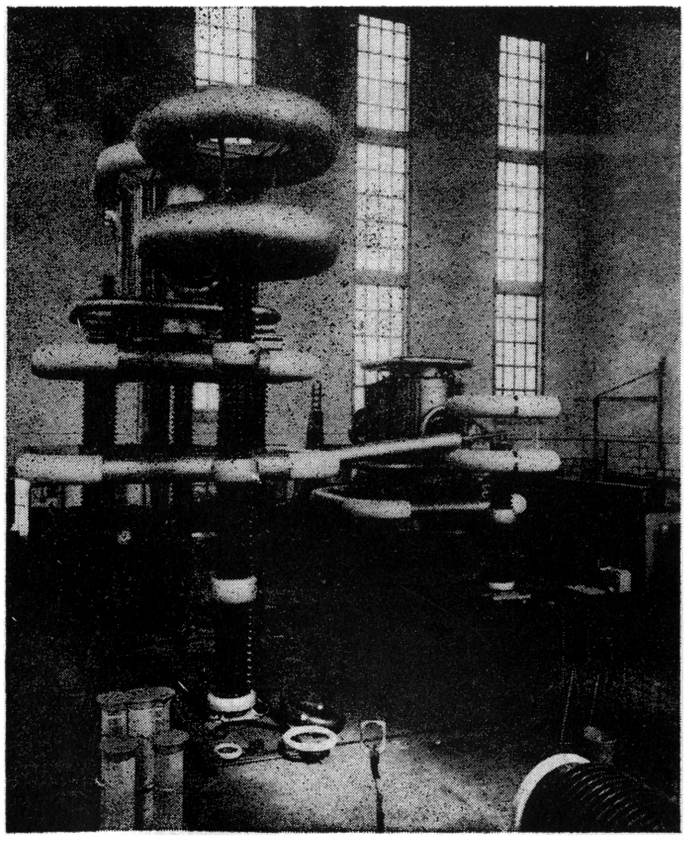


Bild 5. Montage von Segmentelektroden aus dem TuR-Elektrodenbaukasten
Fotos: Werkfoto

Felder zu minimalen Wandabständen der oft großräumigen Prüfanlagen. Zusätzlich werden in vielen Anwendungsfällen teilentladungsfreie Hochspannungsprüfkreise gefordert.

Mit den neuen Baukästen von Segment- und Zylinderelektroden wird nun die Möglichkeit geboten, an die spezielle Prüfaufgabe angepaßte Elektroden aus vorgefertigten Teilen selbst aufzubauen (Bild 5). Die Baukästen sind nutzbar zum Aufbau

- — teilentladungsfreier Abschirmungen für beliebige Prüflinge,
- — teilentladungsfreier Verbindungen zwischen Prüfanlage und Prüfling,
- — moderner Zentral- und Verteilerelektroden sowie
- — moderner Abschirmelektroden für ältere Prüfanlagen.

Erwähnt werden muß auch, daß TuR — als Produzent von Strom- und Spannungswandlern — für den Einsatz in Niederspannungsschaltanlagen kleiner Bauart eine Baureihe neuer Kleinwandler der Reihe 0,5 sowie neue Gießharzwandler schmaler Bauform (Breite 150 mm) entwickelt hat.

Der Vollständigkeit halber sei auch die Tatsache hinzugefügt, daß die Erzeugnisse des Kombinates Keramische Werke Hermsdorf sowohl in Hinsicht auf den Elektro- wie auch den Prüfanlagenbau von nicht zu unterschätzender Bedeutung sind. Die Exponate der vier Erzeugnisgruppen — Ventilableiter und Freileitungsisolatoren, Stützer und Apparateisolatoren — garantieren nach den internationalen Standards höchste mechanische Festigkeit, absolute Durchschlagsicherheit, Fremdschichtbeständigkeit und Kriechstromfestigkeit.

Selbstverständlich gehört auch 1984 zur Messeofferte des DDR-Elektroenergieanlagenbaues ein umfassendes Angebot an **Know how, Lizenzen, Consulting und Engineering.** Es beinhaltet zukunftsorientierte Leistungen von der Ausarbeitung von Studien über die Projektierung bis hin zur Errichtung kompletter Elektroübertragungs- und -verteilersysteme sowie von Hochspannungs-Prüffeldern- und -Laboren und schließt die Ausbildung des Bedienpersonals mit ein.

G. Stötzner, Dresden EA 1655

VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

Leistungsfähige Automatisierungsanlagen aus der DDR

Unter dem Warenzeichen VEM zeigt der VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau zur Leipziger Frühjahrsmesse 1984 in der Halle 15 einen Ausschnitt aus der Vielfalt seines Exportprogramms.

Die in Leipzig demonstrierten mikrorechnerorientierten Automatisierungsanlagen sind das Ergebnis jahrelanger wissenschaftlicher Forschung in ständiger Konsultation mit den Anwendern. Die Angebotsbreite der Exponate reicht von bewährter Leistungselektronik und der Automatisierung industrieller Prozesse über die Maschinenautomatisierung bis hin zur Signal- und Sicherungstechnik für den schienengebundenen Verkehr.

Leistungselektronik

Der Stammbetrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, der VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, ist ein bekannter Produzent industrieller Leistungselektronik. Zur Leipziger Frühjahrsmesse 1984 wird von diesem Betrieb als Neuentwicklung der Thyristorumrichter DDU 380/38 vorgestellt. Dieser Thyristorumrichter für drehzahlgeregelte Drehstromantriebe wurde für den Einsatz bei Pumpen und Verdichtern sowie für den Textilmaschinenbetrieb entwickelt. Die Thyristorstromrichter gehören zu der seit Jahren bewährten THYRESCH-Familie und stellen den neuesten Generationsstand hinsichtlich des Einsatzes modernster Bauelemente der Leistungs- und Informationselektronik dar. Gegenüber den bisher produzierten Thyristorumrichtern ergibt sich für den Anwender eine Energieeinsparung bis zu 30 %.

Ein weiteres Exponat aus der Gruppe der industriellen Leistungselektronik wird mit dem SG-Schrank, einem Stromrichterschrank zur Ankerspeisung drehzahlgeregelter Gs-Antriebe vorgestellt. Dieser SG-Schrank ist eine Ausführungsform des TRANSRESCH-Systems für eine Gleichstromnennleistung bis 100 kW.

Die Stromrichterschränke werden vorzugsweise für dynamisch hochwertige Antriebe in Walzwerken eingesetzt. Durch einfache Applikationsarbeiten können sie auch an alle anderen technologischen Prozesse angepaßt und für Be- und Verarbeitungsmaschinen eingesetzt werden. Durch die Erhöhung der Flexibilität des Schrankes erfolgt eine Reduzierung des Sortimentes an Baugruppen und damit eine Einsparung bei der Ersatzteilhaltung.

Prozeßautomatisierung

In diesem Exponatekomplex werden weitere Anwendungsmöglichkeiten des multivalent einsetzbaren Automatisierungssystems „audatec" demonstriert (Bild 1). Konzipiert für den Einsatz in Walz- und Zementwerken ist der vorgestellte IVA-Schrank 5020, der ein Vertreter einer Typenreihe von Informationsschränken ist, die für den Einsatz in der prozeßnahen Ebene bei hierarchisch strukturierten Automatisierungsanlagen entwickelt wurde. Kern der gerätetechnischen Ausrüstung der IVA-Schränke ist das leistungsfähige speicherprogrammierbare Baugruppensystem ursatron 5000. Die Vorteile dieses Exponates bestehen in einer Steigerung der Ausnutzung von Primärenergie bis 10 % und in der Erhöhung der Verfügbarkeit um 50 %.

Dem interessierten internationalen Fachpublikum wird in Leipzig der weiterentwickelte IVA-Schrank 4000 vorgestellt, der seine Hauptanwendungsgebiete in Steuerungsanlagen für Kraft-, Zement- und Walzwerke findet. Der IVA-Schrank 4000 ist eine typisierte gerätetechnische Einheit, aus der umfangreiche Anlagen zur Steuerung technologischer Prozesse aufgebaut werden können. Dieses Erzeugnis wurde in einer Reihe von Varianten entwickelt, die sich konstruktiv bezüglich des kombinierten Einsatzes von Baugruppeneinsätzen der Höhen 120 und 240 mm zur Aufnahme der Baugruppen und elektrisch hinsichtlich der Bereitstellung der Steuerspannung (Eigenversorgung oder Fremdeinspeisung) unterscheiden. Alle Varianten haben eine einheitliche elektrische Grundausrüstung, die die Einspeisungen, Schutzmaßnahmen, Schutzbeschaltungen gegen Störbeeinflussung, Baugruppen zur Überwachung und Meldung, Kommunikationseinrichtungen, Schrankbeleuchtungen, Steckdosen einschließlich der zugehörigen Verdrahtung beinhaltet. Für den Betreiber des IVA-Schrankes 4000 ergeben sich so entscheidende Vorteile, wie z. B. eine jährliche Produktionssteigerung von 10 %.

Ein weiterer Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, der VEB Starkstrom-Anlagenbau Cottbus, der auf die elektronische und starkstromtechnische Ausrüstung von Tagebauanlagen spezialisiert ist, stellt eine mikrorechnergeführte Großflächenentwässerung von Tagebauen vor. In Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern und Praktikern der Braunkohlen-

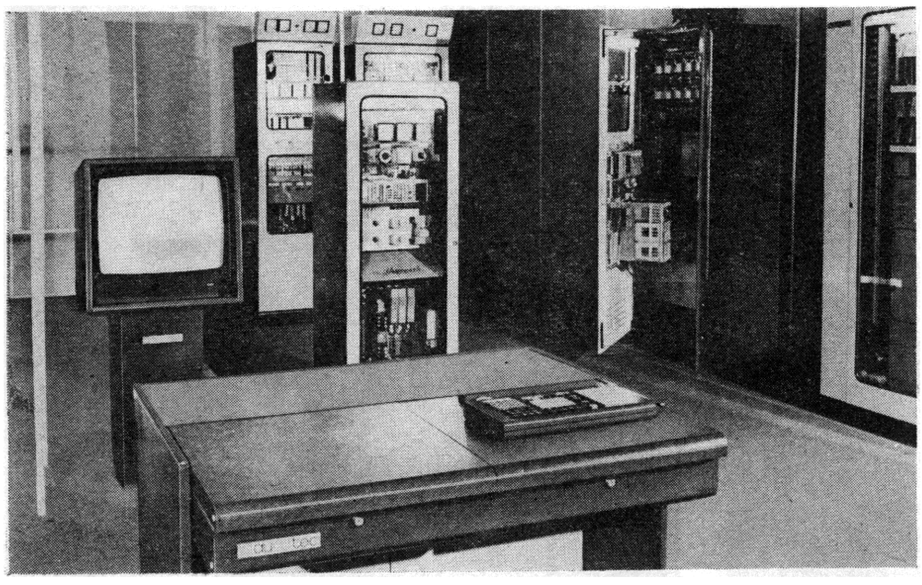


Bild 1. Prozeßautomatisierung mit dem multivalent einsetzbaren System „audatec" ▼

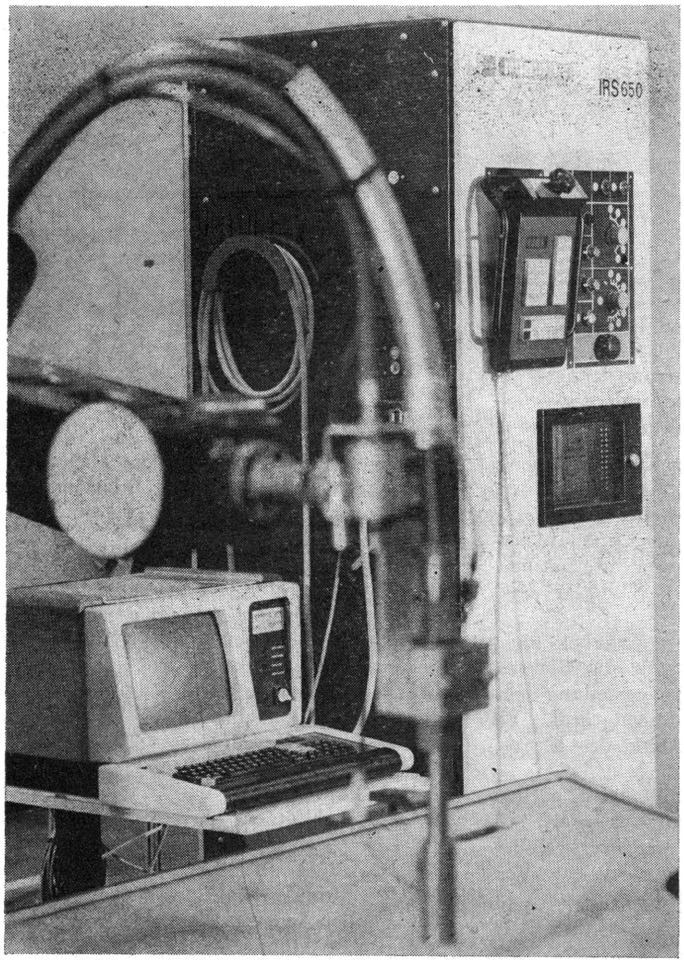


Bild 2. Industrieroboter-steuerung IRS 650

industrie und der Bergakademie Freiberg wurde diese „audatec"-Anlage entwickelt, die auf der Basis objektiver Kriterien eine optimale Lösung gewährleistet und subjektive Fehler ausschaltet.

Der VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow, ein namhafter Produzent von Automatisierungsanlagen des Systems „audatec", bietet am Beispiel eines Einsatzfalls in der Erdölförderung eine Systemerweiterung und Spezifikation des Automatisierungssystems „audatec" an. Diese Variante stellt eine optimale Anpassung der Automatisierungsanlage an kleinere technologische Prozesse dar. Dazu wurde eine modifizierte Einrichtung für die Kleinautomatisierung systemtechnisch in das Automatisierungssystem „audatec" einbezogen. Durch den Einsatz dieser Variante im Zusammenwirken mit der entsprechenden Technologie werden bei der Erdölförderung solche wesentliche Effekte wie Steigerung der Ausbeute und Einsparung von Erdgas erzielt.

Einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes leistet der VEB Geräte- und Regler-Werk Leipzig im Komplex **Transportautomatisierung** mit mikrorechnergesteuerten Lichtsignalanlagen für den Straßenverkehr. Ein umfangreiches Sortiment von Lichtsignalanlagen wird vorgestellt. Die gesamte Lichtsignalanlage ist in Klein-, Mittel- und Großstädten einsetzbar. Durchgeführte Effektivitätsberechnungen haben ergeben, daß dieses Verkehrssteuerungssystem gegenüber herkömmlichen zentralen Steuerungssystemen erhebliche Vorteile, wie Einsparung von Vergaserkraftstoff, Minimierung der Kabelmenge, gewährleistet.

Bild 3. IRS 600 beim Einsatz an einem Industrieroboter
Fotos: Werkfoto

Meß- und Regelungstechnik

Ebenfalls aus dem VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow, der seit Jahren bewährte Geräte der Meß- und Regelungstechnik produziert, stammen die neuentwickelten Absolutdruckwandler und die Halbleiter-Druck- und Differenzmeßumformer. Diese Geräte arbeiten nach dem intergrierten piezoresistiven Wirkprinzip und besitzen als funktionsentscheidendes Element einen Halbleitersensor.

Maschinenautomatisierung

Der VEB Numerik „Karl Marx", ein auf mikroelektronische Steuerungen spezialisierter Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, zeigt zur Leipziger Frühjahrsmesse ein umfangreiches Programm an bewährten und weiterentwickelten numerischen Steuerungen.

Die in der Halle 15 demonstrierte CNC 646-1 ist eine hochleistungsfähige Zweirechnersteuerung mit Handeingabe auf der Basis eines Mikrorechnersystems.

Einsetzbar ist CNC 646-1 an Universal- und Einzweckwerkzeugmaschinen für eine breite Anwendung in Musterbauwerkstätten, in der Kleinserienfertigung und in der Großserienproduktion.

Mit der IRS 650 wird eine Industrierobotersteuerung vorgestellt, die für Gelenkroboter mit elektrischen Antrieben konzipiert wurde (Bild 2). Mit der IRS 650 ist es möglich, 6 lagegeregelte Achsen gleichzeitig oder auch einzeln zu steuern. Diese Steuerung ist für die Handhabetechnik und für technologische Probleme geeignet. Die Anwendung der Mikroprozessor-Rechentechnik für die Steuer- und Regelaufgaben ist Grundlage für die Anpassungsfähigkeit der IRS 650 an den Prozeß (Bild 3). Die Programmierung erfolgt nach der Methode des indirekten Teach-in und textuell erstellter Programme.

Als ein bewährtes speicherprogrammierbares Steuerungssystem wird die PC 600 in der Variante PC 601 vorgestellt.

Ihre Einzelbreite umfaßt

— Werkzeugmaschinen, besonders Sondermaschinen, Taktstraßen und Großteilbearbeitungsmaschinen
— Plastverarbeitungsmaschinen
— polygrafische Maschinen
— Gießereianlagen
— Montagemaschinen
— Pressen und
— chemische Prozesse.

Das Steuerungssystem PC 600 zeichnet sich u. a. durch optimale Anpassung, große Störsicherheit und hohe Servicefreundlichkeit aus. Ein Stromrichtergerät zur Realisierung von Antriebsproblemen im Nennleistungsbereich bis 6 kW an Industrierobotern, Werkzeug- und Textilmaschinen wird mit dem TDR 100 offeriert. Technische Lösungen sind mit dem Stromrichtergerät TDR 100 sowohl in Lagerregelkreisen von

numerischen Steuerungssystemen als auch drehzahlgeregelt in Verbindung mit PC-Steuerungen oder durch Nutzung der internen Sollwert-Spannung zu realisieren.

Eisenbahnsignal- und Sicherungstechnik

In diesem Ausstellungskomplex stellt der VEB Signal- und Sicherungstechnik Berlin die elektronische Achszählanlage AZ1 MR 83 vor. Achszähleinrichtungen dienen der automatischen Gleisfreimeldung in Systemen der Eisenbahntechnik. Sie werden dort eingesetzt, wo die Anwendung von Gleisstromkreisen aus technischen oder ökonomischen Gründen nicht möglich bzw. nicht sinnvoll ist. Die Achszählanlage wird verwendet für die Freimeldung von Streckengleisen, Bahnhofsgleisen, Weichenabschnitten, Kreuzungsabschnitten sowie für Weichen- und Zwischenabschnitte in Ablaufstellwerken. Der konstruktive Aufbau sowie die Anschlußparameter erlauben den Einsatz der Anlage mit Stellwerkssystemen beliebiger Bauart. Das wesentliche Merkmal der AZ 1 MR 83 besteht in der Anwendung moderner mikroelektronischer Bauelemente einschließlich eines Mikroprozessors.

Die Entwicklung „Achszähleinrichtung" erfolgte im RGW abgestimmt, unter Leitung des VEB Werk für Signal- und Sicherungstechnik Berlin. Kooperationspartner, speziell für die Außenanlage, ist die Firma ZWUS in Katowice, VR Polen. Die sowjetische, ungarische und tschechoslowakische Staatsbahnen haben mit dem Ziel des zukünftigen Einsatzes mitgewirkt. Die realisierten technischen Forderungen basieren auf dem UIC-Kocex 790 E sowie auf den Forderungen der genannten Eisenbahnverwaltungen.

Unvollständig wäre diese Messevorschau ohne das umfangreiche Angebot des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau an immateriellen Leistungen, wie **Lizenzen** und **Know how, Consulting und Engineering,** das wissenschaftlich-technische Ergebnisse und zukunftsorientierte Lösungen von der Ausarbeitung im Partnerauftrag bis zur Projektierung und Errichtung kompletter Automatisierungsanlagen umfaßt.

A. Tieding, Berlin EA 1651

Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck" Berlin

In folgenden Ausstellungskomplexen werden etwa 150 Exponate dargeboten:

- Starkstromkabel
- Fernmeldekabel
- Starkstromleitungen
- Fernmeldeleitungen
- Hochfrequenzkabel und -leitungen
- Wickeldrähte
- konfektionierte Starkstromleitungen
- Starkstromkabel-Garnituren
- Fernmeldekabel-Garnituren.

Drei Viertel der gezeigten Qualitätserzeugnisse werden nach ausländischen Standards bzw. Vorschriften hergestellt (GOST, BS, VDE, SEN, NEN etc.). Die Exponate entsprechen weitestgehend den internationalen Empfehlungen, wie z. B. ST-RGW, IEC, CCITT oder CEE.

Dominierend sind Starkstromkabel, überwiegend mit Al-Leitern, für die Elektroenergieübertragung und -verteilung einschließlich der Verbindungstechnik. Sie bilden eine Hauptexportlinie des Kombinates.

Gute elektrische Leitfähigkeit, geringe Masse, hohe Erschütterungsfestigkeit, niedriger Reduktionsfaktor, erleichterte Kabellegung und Montage sind anerkannte Vorzüge von Aluminium-Kabeln.

Der Einsatz von modernen Plasten für die Isolierung und Ummantelung nimmt ständig an Umfang zu. Zu den Erzeugnisgruppen, die mit PVC-Isolierung und Ummantelung hergestellt werden, gehören u. a.:

— Niederspannungs-Leistungskabel
— kältebeständige 1-kV-Spezialkabel
— Steuerkabel (mit Kupfer- oder Aluminium/Kupfer-Leiter)
— Schiffskabel.

Das Sortiment der Mittelspannungskabel 10 bis 30 kV umfaßt sowohl strahlen- als auch chemisch vernetzte polyäthylenisolierte Kabel und unvernetzte PE-Kabel, die universell einsetzbar sind. Hervorragende Gebrauchseigenschaften dieser Spitzenerzeugnisse sind:

— hohe zulässige Betriebstemperaturen
— geringe dielektrische Verluste
— ausgezeichnete elektrische Sicherheit
— Montagefreundlichkeit
— hohe Lebensdauer und Betriebszuverlässigkeit.

Das polyäthylenisolierte Mittelspannungskabel vom Typ AXKJ 7/12 kV 3 × 240/35 mm²sm nach schwedischem Standard SS 424 14 16 erhielt zur Leipziger Frühjahrsmesse 1983 eine Goldmedaille des Leipziger Messeamtes. Es ist besonders geeignet für den Einsatz bei schwierigen Netzverhältnissen.

Entsprechend den Wünschen der Kunden wird ein Teil des Starkstromkabelsortimentes in der traditionellen (klassischen) Ausführung mit Papier-Masse-Isolierung und Metallmantel angeboten.

Besonders gefragt in dieser Erzeugnisgruppe sind die tropenfesten Haftmassekabel (nondraining-Kabel) bis 45 kV für die Energieübertragung in Strecken mit Niveaudifferenzen oder bei extremen Klimabedingungen. Die durch einen hohen Tropfpunkt gekennzeichnete vollsynthetische Haftmasse verleiht der Papierisolierung sehr gute elektrische Eigenschaften und eine hohe Alterungsstabilität.

Die Kabel besitzen korrosionsbeständige Blei- bzw. Bleilegierungsmäntel, korrosionsgeschützte Stahlband- oder Stahldrahtbewehrungen und sind so wirksam vor schädigenden äußeren Einflüssen besonders in tropischen Klimagebieten geschützt (z. B. Schutz gegen Korrosion, Schimmelbefall, Termiten).

Zum Sortiment der papierisolierten Starkstromkabel gehören auch die Ölkabel für Nennspannungen von 30—150 kV in den verschiedensten Spezialkonstruktionen.

Zum Lieferprogramm des Kombinats zählen ebenfalls zur Seeverlegung geeignete Kabel (Bild 1).

Im Ausstellungskomplex der Fernmeldekabel ist das Sortiment der Lichtleiterübertragungstechnik gegenüber dem Vorjahr erweitert worden.

Die Lizenzangebote umfassen sowohl Spitzenerzeugnisse der Kabeltechnik als auch Rationalisierungsmittel, Technologien, Verfahren, Prüf- und Meßtechniken. Darüber hinaus werden Leistungen im Rahmen des **Know how, Consulting und Engineering** angeboten, so z. B. Organisationsprojekte, technische Hilfe, Ausbildung und einführende Leitung bei der Errichtung bzw. Inbetriebnahme von Kabelfabriken im Ausland.

Zum umfangreichen Angebot der **Lizenzvergabe** gehören u. a. solche wissenschaftlich-technischen Leistungen bzw. Dokumentationen des Kombinates, wie:

— Herstellung von Al-Cu-Verbunddraht einschließlich eines Prüfverfahrens (Al-Cu-Tester)
— Herstellung von Drilleitern für den Transformatorenbau
— Automatisierung der Konfektionierung von Anschlußleitungen
— Verdichtung bei der Bündelverseilung von Fernmeldeortskabeln
— Herstellung der Aderisolierung aus verschäumtem Polyäthylen.

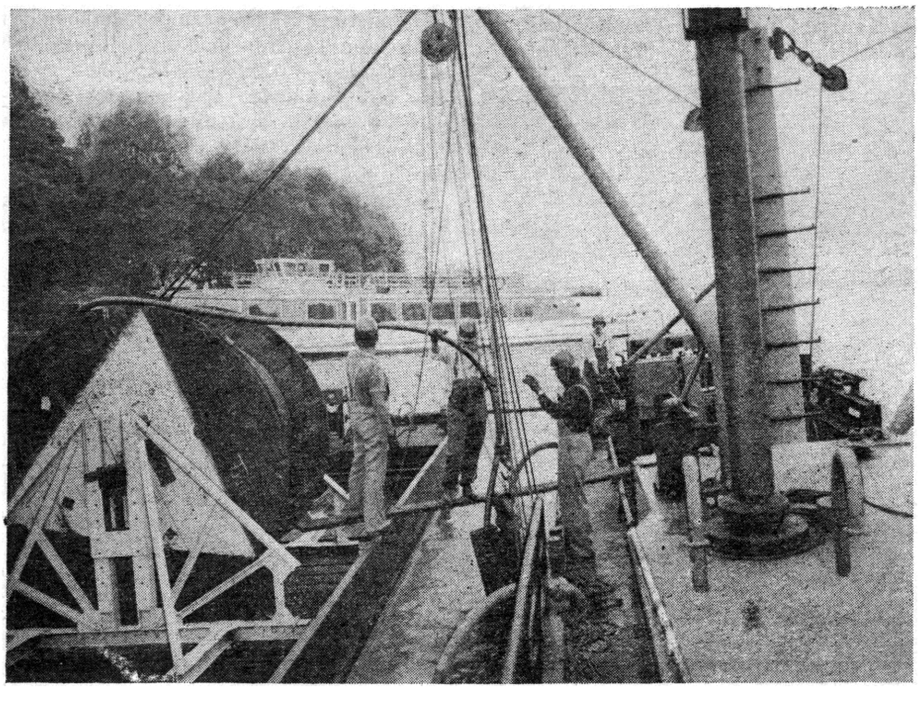


Bild 1. Verlegung von Seekabeln

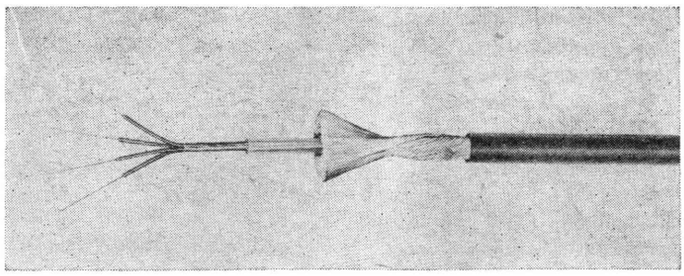


Bild 2. Lichtleiter 4adrig

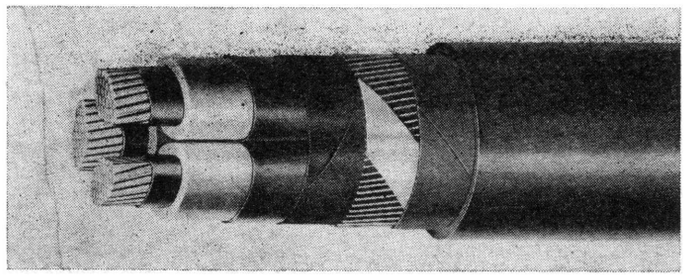


Bild 3. Chemisch vernetztes (VPE) Dreileiter-Mittelspannungskabel AXKJ

Aus der Palette der Neu- und Weiterentwicklungen werden nachfolgend einige Exponate vorgestellt.

Lichtleiterkabel und Garnituren für Lichtleiterkabel

Die Lichtleiterkabel des KWO sind entsprechend den Erfordernissen der verschiedenen Anwender konzipiert und enthalten zunächst bis zu 16 Lichtleiter mit unterschiedlichen Strukturen und Eigenschaften (Bild 2). Diese Kabel sind zum Einziehen in Röhren sowie für das mechanische Legen in Erde geeignet. Dem System angepaßte Lichtleiterspezifikationen gestatten den wirtschaftlichen Einsatz dieser Kabel in allen Anwendungsbereichen der Telekommunikation.

Neben dem Sortiment Lichtleiterkabel mit Gradientenindex-Lichtleitern, vorzugsweise für den Einsatz in postalischen Netzen, wurden vom Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) auch Lichtleiterkabel mit polymerummantelten Stufenindex-Lichtleitern mit einem Kerndurchmesser von 200 µm für den industriellen Einsatz, speziell im Elektroenergie- und Automatisierungsanlagenbau, entwickelt.

Das optimale Verhältnis von Masse, Außendurchmesser und zulässiger Zugkraft ermöglicht die Kabellegung mit konventioneller Legetechnologie sowie das Einziehen in vorhandene Kabelkanalanlagen.

Die zur Verbindung, Aufteilung und zum Abschluß der Lichtleiterkabel erforderlichen Garnituren gehören ebenfalls zum Sortiment des KWO.

Als Typenvertreter stellt das Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree folgende Lichtleiterkabel und Garnituren vor:

- Lichtleiterkabel 1adrig
- Lichtleiterkabel 8adrig

Aufbau:
8 Lichtleiteradern mit Gradientenindex-Lichtleiter 50/125 µm
PE-Innenmantel
Zugentlastung
PE-Außenmantel orange

Eigenschaften:
Dämpfung bei 850 nm: = 3 dB/km
Impulsdispersion bei 850 nm:
0,5 ··· 2 ns/km
Numerische Apertur: 0,2 ± 0,02
Außendurchmesser: < 9 mm
Masse: < 70 kg/km
min. Biegedurchmesser: 20 d

Dieses Kabel ist sowohl für die Legung in Erde als auch in Kabelkanalanlagen vorgesehen.

- Verbindungsmuffen für 1- und 8- bis 16adrige Lichtleiterkabel

Gerätesatz Lichtleiterverbindungstechnik

Lichtleiterkabelanlagen werden mit einer neuartigen Verbindungstechnik installiert. Grundprinzip ist das international weit verbreitete Lichtbogenschweißen der Lichtleiter.

Das Netzteil des Lichtleiterschweißgerätes LLSG-4 stellt die Lichtbogenenergie zum Verschmelzen der Quarzglaslichtleiter von 125 µm – 200 µm zur Verfügung. Die 2 Stufen des Schweißprozesses, das Vorschmelzen und das eigentliche Schweißen sind getrennt vorwählbar und können einzeln oder automatisch abgerufen werden. Eine interne Regelung läßt bis zu 20 % Netzschwankungen zu, so daß Aggregatbetrieb in Feldeinsatz möglich ist. Die Justierung der beiden Lichtleiterenden erfolgt durch eine hochgenaue prismatische Führungsnut. Die Endflächen der Lichtleiter und der Schweißprozeß können mit einem Mikroskop bei 58facher Vergrößerung betrachtet werden. Der Schutz der Schweißstelle erfolgt im Gerät durch Anbringen einer längsgeteilten Schutzhülle ohne mechanische Beanspruchung. Die erreichbaren Spleißdämpfungen liegen bei Modengleichgewichtsbedingungen bei 0,2 dB ohne Berücksichtigung von Toleranzen der verschweißten Lichtleiter.

Das Zubehör zum Lichtleiterschweißgerät umfaßt eine Lichtleiterkennvorrichtung sowie eine Aderabisolierzange.

Ein- und mehradrige VPE-Kabel

Als erster Hersteller in der Welt hat KWO bei Mittelspannungskabeln 100 % aller VPE-Kabel mit einer reinen Trockenvernetzung hergestellt (Bild 3). Die Kabel werden mit runden oder sektorförmigen mehrdrähtigen Leitern, bevorzugt aus Aluminium, gefertigt.

Bei Mittelspannungskabeln werden innere und äußere Feldbegrenzung aus leitfähigem Polyäthylen-Compound und die hochreine Polyäthylen-Isolierung im Mehrfachextrusions-Verfahren aufgebracht. Die äußere Feldbegrenzungsschicht kann, je nach Kundenwunsch, extrudiert verschweißt oder abziehbar oder mit leitfähigen Schichten und Bändern ausgeführt werden. Über einem leitfähigen Polster bzw. einer leitfähigen gemeinsamen Aderumhüllung wird der Schirm aus Cu-Drähten mit einem gegenläufigen Cu-Band als Querleitwendel aufgebracht. Den äußeren Abschluß bildet ein Plastmantel. Normalerweise werden für den Mantel temperaturfeste PVC-Mischungen eingesetzt, auf Wunsch ist aber auch Polyäthylen einsetzbar.

Das Sortiment umfaßt: Mittelspannungskabel nach IEC 502; DIN 57273/VDE 0273 und SS 424 14 16 der Ausführungen

- NA2XSY
- AXKJ
  6/10 bis 18/30 kV als Einleiterkabel im Querschnittsbereich 50 bis 500 mm²
- NA2XSY
- AXKJ
  6/10 bis 14/24 kV als Dreileiterkabel im Querschnittsbereich 50 bis 240 mm²

Als Sonderausführung sind auch Dreileiterkabel mit Stahlband-Bewehrung NA2XSBY 6/10 kV mit gemeinsamem Schirm NA2XSEBY 12/20 kV mit Einzeladerschirm aus C-Bändern lieferbar. Zur Ergänzung des Sortimentes wurden Dreileiterkabel TFSP 0,6/1 kV nach NEN 194.80 bzw. NEMKO in die Fertigung aufgenommen. Alle VPE-Kabel ermöglichen durch die hohen zulässigen Betriebstemperaturen von 90 °C für den Normalbetrieb und 130 °C für den Störlastbetrieb hohe Übertragungsleistungen für Dauerlast- oder Havarielastfälle. Im Kurzschlußfall bieten max. zulässige Temperaturen von 250 °C für die Leiter und 350 °C für den Cu-Schirm eine hohe Sicherheit.

Die Legung kann bis zu Kabeltemperaturen von – 5 °C ohne besondere Zusatzmaßnahmen erfolgen. Die Montage der Kabel ist einfach, wobei geeignete Endverschlüsse und Muffen zur Verfügung stehen.

Sorgfältige Prüfungen während und nach der Fertigung auf Basis spezifischer Prüfvorschriften oder der IEC-Publ. 502/1983 bieten die Gewähr für eine stabile, hohe Qualität der Kabel (Goldmedaille auf der Leipziger Messe 1983).

38/66 kV – Ölkabel

Innerhalb des umfangreichen Ölkabelsortimentes für Nennspannungen bis zu 150 kV wird vom KWO ein Spezial-Sortiment von Einleiter- und Dreileiter-Ölkabeln 38/66 kV für den Export in außereuropäische Länder gefertigt.

Im Zuge der konstruktiv/technologischen Weiterentwicklung konnten für 38/66-kV-Ölkabel höhere Leitertemperaturen zugelassen werden:

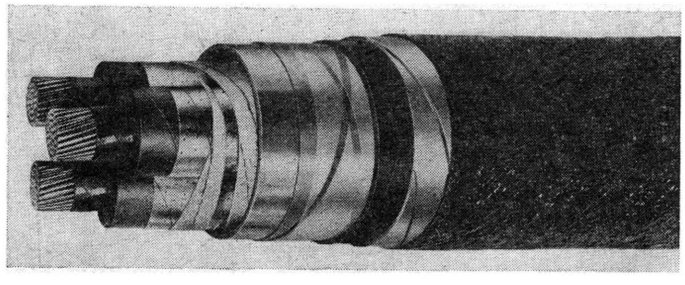


Bild 4. 66-kV-Zwickelölkabel NÖHKzBA-K
Fotos: Werkfoto

— 85 °C für den Normalbetrieb
— 100 °C für den Notbetrieb
— 150 °C im Kurzschlußfall.

Die Schutzhüllen über dem Bleimantel der Kabel sind sowohl mit fungizid ausgeführten Faserstoffhüllen als auch mit Plastschutzhüllen lieferbar, wobei in beiden Fällen ein wirkungsvoller Korrosionsschutz für den Bleimantel vorgesehen wird.
Für normale Kabeltrassen sind die Dreileiter-Ölkabel

— NÖHKzBA-K 3 × 300 rm 38/66 kV
— NÖHKzBY-K 3 × 300 rm 38/66 kV

den in dieser Spannungsebene eingesetzten Gasdruckkabeln und auch Einleiter-Ölkabel-Systemen überlegen. Die KWO-Dreileiter-(Zwickel)-Ölkabel erreichen mit 0,485 kg/kVA das günstigste Masse-Leistungsverhältnis und stellen auch bezüglich Lege- und Montageaufwand und erforderlicher Trassenbreite die technisch-ökonomisch optimale Lösung dar (Bild 4).
Für spezielle Einsatzgebiete mit extremen Beanspruchungen wurde ein zugfestes Einleiter-Ölkabel NÖHKzuDuDR(ou)Y-KK 1 × 300 rm 38/66 kV entwickelt, das durch die spezielle zugfeste und unmagnetische Stahldraht-Bewehrung in Verbindung mit dem verstärkten Druckschutz hohen mechanischen Beanspruchungen während und nach der Legung ausgesetzt werden kann.

Dieses Spezialkabel kann bis zu einem Öldruck von 650 kPa betrieben werden und besitzt einen hochwirkungsvollen doppelten Korrosionsschutz. Alle 38/66-kV-Ölkabel entsprechen in ihren Anwendungs- und Prüfparametern vollständig den Forderungen der IEC 141-1.
Die Kabel werden in Lieferlängen von 300 m (Dreileiterkabel) bzw. 750 m (Einleiterkabel) gefertigt und haben bei 300 mm² Leiterquerschnitt eine Übertragungsleistung von 57,7 MVA (Dreileiterkabel) bzw. 60,8 MVA (Einleiterkabel).
Die äußeren Schutzhüllen können auch in den Ausführungen „insektizid" oder „termitengeschützt" hergestellt werden (Eignung für tropische Klimagebiete).

Innenraum-Endverschlüsse EGg und EGgSt 10 bis 30 kV

Die weiterentwickelten Endverschlüsse EGg und EGgSt sind Einleiter-Innenraum-Endverschlüsse 10, 20 und 30 kV, zum Abschluß von Einleiter- und Dreimantel-Massekabeln sowie Dreileiter-Einmantel-Massekabeln in Verbindung mit Aufteilungsgehäusen AgW. Sie können für sattgetränkte und massearme Kabel Leiterquerschnitte bis 400 mm² (Al oder Cu) eingesetzt werden.

Chr. Henke, Berlin EA 1653

Kombinat VEB Lokomotivbau – Elektrotechnische Werke „Hans Beimler"

LEW-Rationalisierungsmittel für wirtschaftliche Fertigung

Zur Leipziger Frühjahrsmesse stellt LEW eine Reihe neuer und weiterentwickelter Erzeugnisse aus; darunter Exponate der Elektronenstrahltechnik, der industriellen Elektrowärme, der Schweißtechnik sowie Elektroisolierstoffe, vor allem kupferkaschierte Schichtpreßstoffe (Bilder 2 und 3) sowie ein neues Mischlaminat.
Der Fahrzeugbereich demonstriert den neuen Triebzug für Athen, der in Kooperation mit Siemens und MAN gefertigt wurde.

Triebzüge für Athen

Die in Kooperation zwischen dem Kombinat VEB LEW/DDR sowie den Firmen Siemens und MAN (BRD) entwickelten und gefertigten Triebzüge werden auf den Strekken der Electric Railways AG Athens — Piraeus (I.S.A.P.) eingesetzt (Bild 1).
Die fünfteiligen Züge setzen sich aus zweiteiligen und dreiteiligen Einheiten zusammen; die zweiteilige Einheit besteht aus Triebwagen und Steuerwagen, die dreiteilige Einheit aus Triebwagen — Mittelwagen — Triebwagen. Die zweiteilige und die dreiteilige Einheit sind für sich in beiden Fahrtrichtungen voll betriebsfähig. An den Führerstandsenden sind automatische Betriebskupplungen angeordnet, die ein schnelles, unkompliziertes Anpassen der Zugzusammensetzung an das erforderliche Verkehrsaufkommen ermöglichen. Innerhalb der Einheiten erfolgt die Kupplung der Wagen mittels Kurzkupplungen. Die Stromversorgung der für eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ausgelegten Triebzüge erfolgt über Seitenstromabnehmer von einer dritten Schiene aus mit 750 Volt Gleichstrom.
Um Korrosionsschäden weitgehend auszuschließen, sind die Beblechung der Seitenwände, der Stirnwände und des Daches sowie das Bodenblech in Nirosta ausgeführt. Eine gute Wärme- und Geräuschdämmung wird durch die aus einer Antidröhnbeschichtung sowie in Aluminiumfolie verpackter superfeiner Glaswolle bestehende Wagenkastenisolation erreicht. Vervollständigt wird die Wagenkastenisolation durch PVC-Matten im Bereich der Seitenwände, deren Struktur eine Belüftung des Innern der Seitenwände erlaubt, sowie im Fußbodenbereich der Drehgestelle durch Schwerstoffmatten, die eine zusätzliche Schalldämmung ermöglichen.

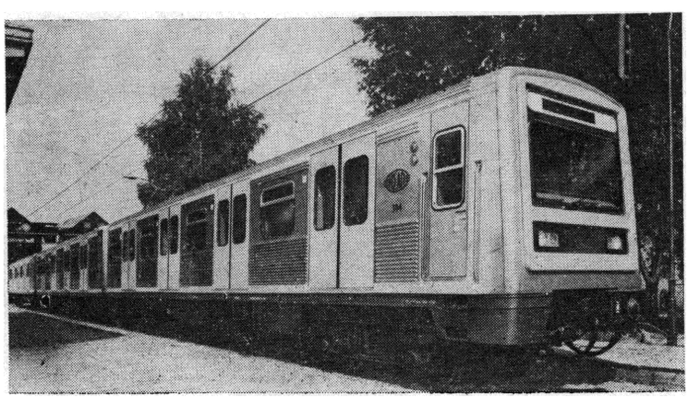


Bild 1. Elektrotriebzug für Athen – gefertigt in Kooperation mit Siemens und MAN

Die Fahrgastsitze sind Einzelsitze in Form von Schalen aus glasfaserverstärktem Polyesterharz mit eingelegtem Sitzpolster, die auf Sitzgestellen zu zwei- oder fünfsitzigen Sitzgruppen kombiniert sind.
Je Wagenseite sind vier druckluftbetätigte und zentralgesteuerte Schwenkschiebetüren mit einer lichten Öffnungsweise von 1300 mm angeordnet. Eine gute Ausleuchtung des Fahrgastraumes wird mittels Leuchtstofflampen erreicht, die in zwei Leuchtenbändern im Bereich der Dachvouten angeordnet sind.
Die Fahrgastraumfenster sind zur Herabsetzung der Sonneneinstrahlung mit gefärbtem Sicherheitsglas versehen. Dabei ist der obere Teil der Fenster kippbar ausgeführt. Die Belüftung der Fahrgasträume erfolgt aus der Fahrzeugdecke. Zwei Lüfter saugen die Luft über Filter in den führerstandslosen Stirnseiten an und drücken sie über Kanäle in der Fahrzeugdecke in die Fahrgasträume. Lautsprecher und Wechselsprechanlage, die sowohl zur Information der Fahrgäste durch den Fahrer als auch für eine Wechselsprechverbindung zwischen Fahrgästen und Fahrer in Notfällen dient, vervollständigen die Ausrüstung des Fahrgastraumes.
Die Führerstandsgestaltung gewährleistet eine einfache Bedienung aller Schaltgeräte und Meldesysteme, die übersichtlich und ergonomisch günstig angeordnet sind.
Der Triebzug ist mit einer elektrodynamischen Netz- und Widerstandsbremse und einer analog gesteuerten elektropneumatischen Federspeicherbremse ausgerüstet.
Beide Bremsen werden lastabhängig gesteuert. Alle Wagen besitzen einen elektronischen Gleitschutz.
Die eingebaute Gleichstromsteller-Einrichtung gewährleistet einen energiesparenden und wartungsarmen Betrieb und trägt durch die ruckfreie Anfahrt und Bremsung wesentlich zum hohen Fahrkomfort des Triebzuges bei.
In jedem Triebwagen ist eine separate Gleichstromsteller-Ausrüstung mit dynamischer Nutz- und Widerstandsbremse unter Flur angeordnet. Die elektrische Ausrüstung mit einer Nennspannung von 750 V ist für den Betrieb im Spannungsbereich von 420 ··· 900 V ausgelegt.

MBL-Schweißen bei der Kesselrohrfertigung

Das Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen-MBL-Schweißen hat sich im industriellen Einsatz wegen seiner hohen Effektivität ausgezeichnet bewährt. MBL-Preßstumpfschweißmaschinen des Kombinats VEB LEW demonstrieren das in verschiedenen Fertigungsbereichen der metallverarbeitenden Industrie des Auslands und der DDR.
Gegenüber den herkömmlichen Schweißverfahren sind die ökonomischen Vorteile des MBL-Schweißverfahrens besonders hervorzuheben:

— kurze Schweißzeiten
— niedriger Energieverbrauch (Einsparungen bis zu 70 %)
— Wegfall von Zusatzwerkstoffen
— geringe Stauchwulstbildung und
— hohe Qualität der Schweißverbindung.

Mit der Maschine MBL-S 250 T in Sonderausführung werden spezielle Forderungen des Kesselbaus erfüllt (Bild 6). Sie ist geeignet zum Schweißen von U-Rohren zu

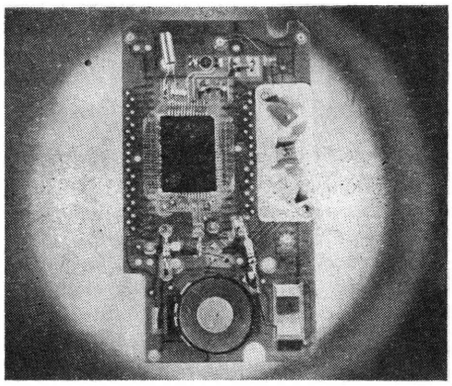


Bild 2. Kupferkaschierter LEW-Schichtpreßstoff für die Leiterplatte eines Quarzweckers

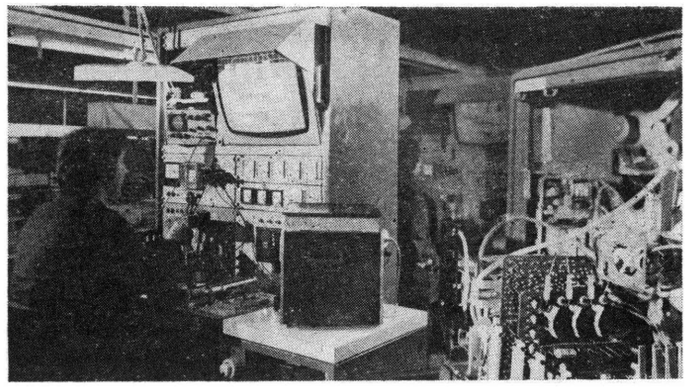


Bild 3. Kupferkaschierte LEW-Schichtpreßstoffe in Farbfernsehgeräten

Rohrschlangen, wie sie im Kraftwerksanlagenbau benötigt werden. Entsprechend den für Kesselrohre erforderlichen Querschnitten und Werkstoffen wurden vom ZIS die notwendigen Technologien erarbeitet, so daß bei Einhaltung der vorgegebenen Parameter eine hohe Qualität der Schweißungen erreicht wird.

Vertikal-Härtemaschine mit freiprogrammierbarer Mikrorechnersteuerung

Mit der mikrorechnergesteuerten Inducal-Vertikal-Härtemaschine lassen sich bei der Bearbeitung von langgestreckten rotationssymmetrischen Maschinenteilen, wie Wellen, Walzen und Führungssäulen, aber auch von Nockenwellen, keilverzahnten Wellen und Leisten mit unterschiedlichen Querschnitten, Härteprozesse mit hohen Qualitätsmerkmalen rationell und kostengünstig durchführen.

Die mit einer freiprogrammierbaren Mikrorechnersteuerung ausgerüstete Maschine kann sowohl für die Stand- und Vorschubhärtung als auch für die Standumlauf- und Vorschubumlaufhärtung sowie für Kombinationen der genannten Verfahren eingesetzt werden. Als individuelle Fertigungseinheit oder als Verkettungsglied komplexer Fertigungslinien gewährleistet die Maschine einen hohen Rationalisierungseffekt.

Die Härtemaschine arbeitet halbautomatisch. Während der Einsatz und die Entnahme der Werkstücke manuell erfolgen, läuft der Härteprozeß nach Auslösung des Startsignals automatisch in der Reihenfolge des vorgegebenen Programms ab. Eine Vollautomatisierung ist mit dem Einsatz einer entsprechenden Handhabe- oder Robotertechnik für den Einsatz und die Entnahme des Härtegutes möglich.

Die mikroelektronische Programmsteuerung basiert auf einem Mikrorechner und gewährleistet den präzisen Ablauf der technologischen Vorgänge gemäß dem eingegebenen Programm. Sie ermöglicht eine freie Kombination und Aneinanderreihung aller technologischen Prozesse sowie die jederzeitige Programmänderung oder -korrektur.

Die Kommunikation zwischen Operator und Maschine erfolgt über Schreibtastatur und Bildschirm. Vom Bildschirm können weiterhin der Programmzustand sowie Signale von Störungen nach Art und Ursache abgelesen werden.

Elektronenstrahl-Mehrkammerofen EMO 60

Das LEW-Fertigungsprogramm umfaßt auch eine Serie von Elektronenstrahlöfen im Leistungsbereich von 60 ··· 1200 kW (siehe Titelbild dieses Heftes).

Besonders zum Einsatz in Laboratorien und Forschungsstätten für metallurgische Untersuchungen, zur Aufstellung in Versuchsbetrieben für die Durchführung von Sonderschmelzen und auch für die Lösung kleinerer Produktionsaufgaben wurde der Elektronenstrahl-Mehrkammerofen EMO 60 entwickelt (Bild 4).

Die Anlage ist mit einer Hochleistungs-Elektronenkanone ausgerüstet, die bei 30 kV Beschleunigungsspannung eine Nennleistung von 80 kW aufweist. Damit arbeitet die Elektronenkanone bei der Nennleistung des Ofens von 60 kW in einem günstigen Arbeitsbereich.

Bei Einsatz entsprechender Einrichtungen und Zusatzausrüstungen ist im EMO 60 das Strangschmelzen, das Gießschalenschmelzen, das Zonenschmelzen und das Knopfschmelzen möglich.

Neben einem Kupferschmelztiegel für 7 Proben gehören zur Ausrüstung zwei Beschickungsvorrichtungen für stabförmiges Material und als Zusatz-Einrichtungen zur Granulatbeschickung für grießförmige bis kleinstückiges Material.

Für die teilautomatische elektrische Anlage werden moderne Halbleiterelemente eingesetzt.

Die im Bild 5 gezeigte Elektronenkanone ist ebenfalls Bestandteil des LEW-Fertigungsprogramms.

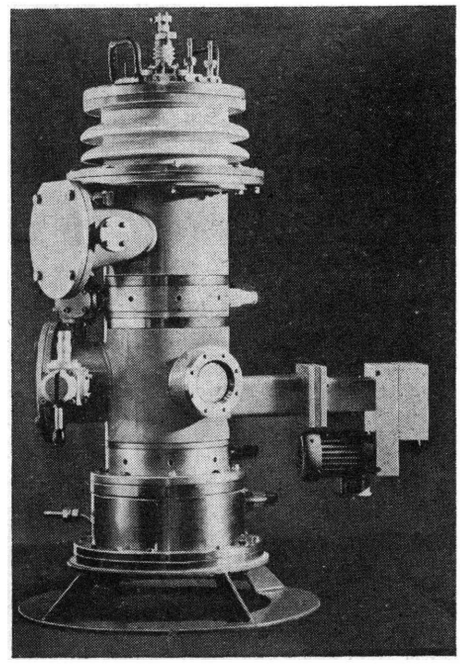


Bild 5. Elektronenkanone 250 kW

Neue kontinuierlich arbeitende Wärmebehandlungsanlagen für Mengenklein- und Normteile

Für die Vergütung von Massenteilen (zum Beispiel von Normteilen, Wälzlagern, Werkzeugen) werden weit verbreitet kontinuier-

Bild 4. LEW-Elektronenstrahl-Mehrkammerofen EMO 60 (Leistung 60 kW) für Indien

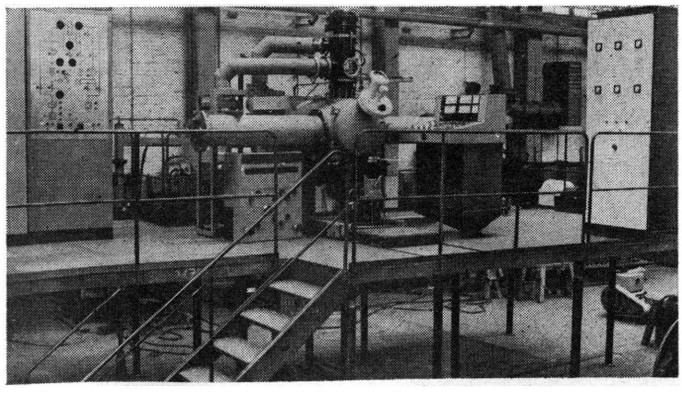
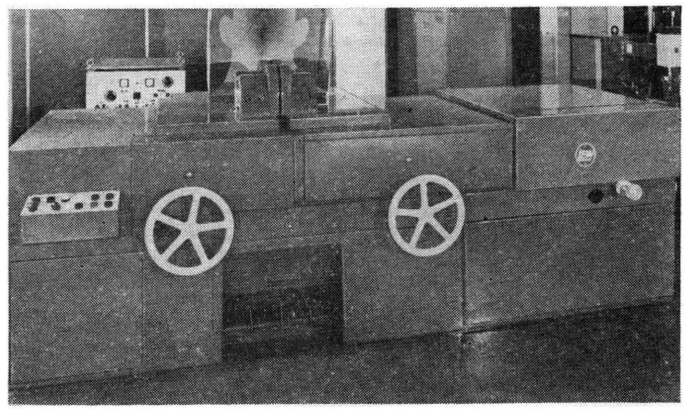


Bild 6. Preßstumpfschweißmaschine MBL-S 250 für das Schweißen von Rohren



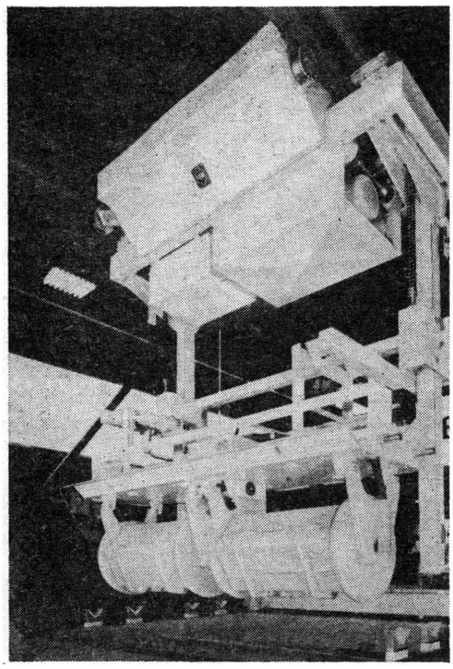


Bild 7. LEW-Galvanisierautomat TAR (Baugruppe mit Doppeltrommeleinheit)

lich arbeitende Wärmebehandlungsanlagen eingesetzt, da sie leicht in den Produktionsfluß eingeordnet werden können und einen rationellen Fertigungsablauf ermöglichen.

Der LEW-Kombinatsbetrieb VEB Industrieofenbau Römhild hat eine neue, kontinuierlich arbeitende Wärmebehandlungsanlage entwickelt, die sich durch niedrigen Energieverbrauch, hohe Zuverlässigkeit und gute Variabilität der Teilaggregate auszeichnet. Die kontinuierlich arbeitende Wärmebehandlungsanlage KWA wird in zwei Baugrößen für Nenndurchsatzleistungen von 200 und 400 kg/h hergestellt, wobei je nach Wärmgut Durchsatzleistungen zwischen 100 und 300 kg/h oder 300 und 500 kg/h realisiert werden können.
Bild 8 zeigt eine schematische Darstellung der kontinuierlichen Wärmebehandlungsanlage KWA.

Galvanisier-Trenntransportautomaten der neuen Baureihe TAR

Bei der Entwicklung der neuen programmgesteuerten Trenntransportautomaten vom Typ TAR wurden Prämissen wie Reduzierung des Grundflächenbedarfes, Steigerung von Kapazität, Effektivität, Flexibilität und andere umfassend berücksichtigt (Bild 7).
Die Automaten der neuen Baureihe sind durch optimierte Funktionsbaugruppen charakterisiert, unter denen sich die Varianz der Behälterabstufung in Kombination mit verschiedenen Transportsystemen und der damit verbundenen Anpassungsmöglichkeit an das Teilesortiment, die Durchsatzkapazität und die lokalen Bedingungen besonders abzeichnen.

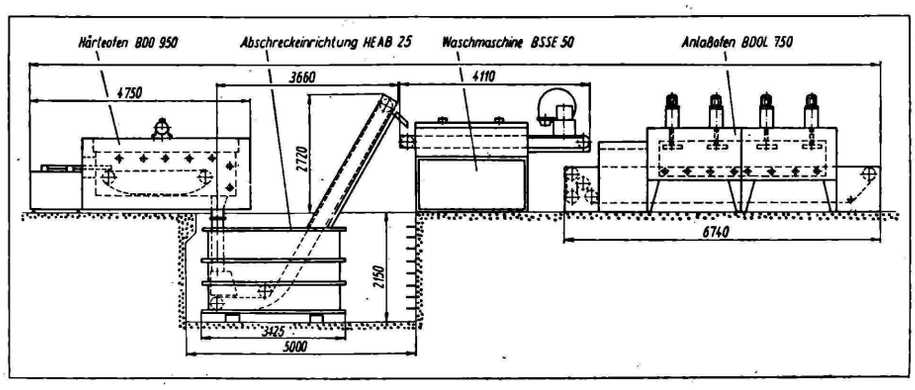
Hauptmerkmale der Automaten

- Moderne Baugruppen, Teilaggregate und Steuerungssysteme zur exakten Anpassung des Automaten an die Kundenforderungen bezüglich Galvanisiergut, Verfahrenstechnologie, Durchsatzleistung und örtlicher Gegebenheiten.
- Gewährleistung von Durchfahrtechnologien für Gestell- und Kleinteile durch optimale Baugruppengestaltung und zweckmäßigen Werkstoffeinsatz.
- Variable ausgereifte Förderersysteme, die sich den Bedingungen des Galvanisiergutes, dem technologischen Ablauf und den lokalen Erfordernissen anpassen lassen.
- Wahlweiser Einsatz konventioneller elektronischer oder moderner elektronischer Programmsteuerungen zur Durchführung der vorgegebenen Technologien.
- 33 % weniger Abluftbedarf durch Neugestaltung der Absaugkanäle an den Behälterapparaten und weitgehende Abdeckung der Elektrolytoberfläche.
- Komplettierung des Automaten mit flexiblen Speichersystemen für alle in der Galvanotechnik vorkommenden Warenträger und spezifische Verkettungseinrichtungen gewährleisten die maximale Automatenauslastung.

Die Trenntransportautomaten der Baureihe TAR, die in Modulbauweise als ein- oder mehrbahnige Anlagen projektiert werden, sind dort vorteilhaft eingesetzt, wo bei der chemischen und elektrochemischen Behandlung von Werkstücken unterschiedliche Teilesortimente in großen Stückzahlen anfallen, wobei auch die Werkstoffe des Galvanisiergutes variieren können und wo ein kontinuierlicher Behandlungsdurchlauf zur Aufrechterhaltung eines ständigen Produktionsflusses gefordert wird.

K. Heise, Hennigsdorf EA 1654

Bild 8. Anordnungszeichnung der kontinuierlichen Wärmebehandlungsanlage KWA
Fotos: Werkfoto



VEB Kombinat Elektromaschinenbau

Messeangebot mit neuen Anwendervorteilen

Wenn man bedenkt, daß mehr als 80 % aller Bewegungsabläufe in der Volkswirtschaft von elektrischen Maschinen bewirkt werden, und darüber hinaus in Rechnung stellt, daß so manches Millionenobjekt, manche hochproduktive Anlage totes Material wären, würden ihnen nicht Elektromotoren ihre eigentliche Funktion erst ermöglichen, dann kann man ermessen, welches volkswirtschaftliche Gewicht der Gebrauchswertverbesserung bei elektrischen Antrieben zukommt.
Niemals zuvor in den über einhundert Jahren ihrer Entwicklung hat die Elektromaschine vor so umfassenden neuen Anforderungen hinsichtlich der Nutzung aller ihr innewohnenden technischen Möglichkeiten — vor allem unter dem Gesichtspunkt der Material- und Energieökonomie — gestanden wie zu Beginn der 80er Jahre. Neue bzw. verbesserte Gebrauchswerte und Anwendervorteile für bewährte Antriebslösungen stehen deshalb neben neuen Antrieben im Mittelpunkt des Exponateprofils 1984 des DDR-Elektromaschinenbaus.

Gleichstrom-Motoren

So wird beispielsweise im Komplex Gleichstrom-Motoren für die spezielle und allgemeine Anwendung neben VEM-Gleichstrom-Mikromotoren und VEM-Kassettenantriebsmotoren sowie speziell für Industrieroboter und Werkzeugmaschinenantriebe entwickelten VEM-Gleichstromstellmotoren (RSM) mit geringen Abmessungen (insbesondere kurze Baulänge), hoher Dynamik, großen Beschleunigungsmomenten, guter Regelbarkeit, wirtschaftlicher Drehzahlstellbarkeit und hoher Lebensdauer eine neue Generation VEM-Gleichstrom-Motoren in vollgeblechter, gehäuseloser Ausführung vorgestellt, die auf Vorteile, wie hervorragende elektromagnetische und mechanische Auslegung, geringes Bauvolumen, hoher Standardisierungsgrad, Wärmebeständigkeitsklasse F usw. verweisen kann. Damit beteiligt sich der VEB Kombinat Elektromaschinenbau z. B. am Goldmedaillen-Wettbewerb der Leipziger Messe.
Gleichstrommaschinen der **Reihe MOD** sind Maschinen der 4. Generation aus dem VEB Kombinat Elektromaschinenbau.
Sie sind für die Nennspannungen 24, 60 und 110 V ausgelegt. Das entspricht den Spannungen, die für Bordnetze von Schienenfahrzeugen und anderen Fahrzeugen üblich sind. Die in diesen Bordnetzen auftretenden Spannungsschwankungen wurden berücksichtigt.
Damit wird auch bei diesen besonderen Netzbedingungen ein sicheres Arbeiten gewährleistet. Die Verbunderregung gestattet das direkte Einschalten der Motoren. Der Isolationsaufbau entspricht der Wärmebeständigkeitsklasse F. Ohne Einschränkung der Parameter ist ein Betrieb bei Umgebungstemperaturen von −40 °C bis +50 °C möglich. Die Motoren sind in Schutzgrad IP 44 ausgeführt. Die Anbaumaße entsprechen den IEC-Empfehlungen. Die Motoren werden in allen gebräuchlichen Bauformen geliefert. Fuß- und Flanschaus-

führung werden mit minimalem Bauteileaufwand realisiert. Der oben angeordnete Klemmenkasten kann um 90° bzw. 180° gedreht werden.

Anwendervorteile

Hohe Zuverlässigkeit für Bahnhilfsantriebe
- hohe Betriebssicherheit
- weitestgehend wartungsfreier Betrieb
- problemlose Ersatzteilhaltung
- elektromagnetische und mechanische Auslegung für robusten Betrieb
- niedriger Geräuschpegel
- kleines Bauvolumen
- hoher Standardisierungsgrad
- Wärmebeständigkeitsklasse F
- Betriebssicherheit bei Umgebungstemperaturen von −40°C bis +50°C ohne Einschränkung

Anwendungsgebiete

Die Gleichstrommaschinen der Reihe MOD sind besonders geeignet für Hilfsantriebe auf Schienenfahrzeugen, wie zum Antrieb von Klimatisierungsanlagen in Reisezugwagen, Kühlanlagen und Pumpen in Speisewagen oder Hilfskompressoren und Bremswiderstandslüftern auf Triebfahrzeugen.

Gleichstrommaschinen der **Reihe MFD/MGD/MBD** sind ebenfalls Maschinen der 4. Generation aus dem VEB Kombinat Elektromaschinenbau.

Bei dieser neuen Reihe Gleichstrommaschinen handelt es sich um Motoren für große Drehzahlstellbereiche und hohe Regelgenauigkeit zur Realisierung spezieller Antriebsforderungen
- des Werkzeugmaschinenbaus
- der Papier- und Zellstoffindustrie
- bei Chemieanlagen
- im Textilmaschinenbau
- in der chemischen Industrie.

Anwendervorteile
- Das kleine Bauvolumen dieser Motoren in gehäuseloser Ausführung ermöglicht den Einsatz an modernen Maschinen mit beschränkten Raumverhältnissen.
- Durch die Vollblechung ergeben sich hohe zulässige Stromanstiegsgeschwindigkeiten bis 100%, die einen problemlosen Betrieb an VEM-Stromrichtern gewährleisten.
- Hohe Feldschwächdrehzahlen realisieren einen großen Bereich konstanter Leistung und damit meßbare Energieeinsparungen.
- Durch wahlweise radiale oder axiale Belüftung kann eine gute Anpassung an das jeweilige Maschinenkonzept erreicht werden.
- IEC-Anbaumaße sind berücksichtigt.
- Masse-Leistungs-Verhältnis und Wirkungsgrad ordnen sich in Wertebereiche für internationale Spitzenprodukte ein.
- Fremdbelüftung sichert, daß die Maschinen im gesamten Stellbereich der Ankerspannungssteuerung mit Nennmoment belastet werden können.
- Installiertes Isoliersystem der WBK F läßt entsprechend IEC-Publikation 34-1 mittlere Erwärmung von 100 K zu. Es sind dazu thermische Reserven vorhanden, die eine hohe Lebensdauer der Wicklungen sichern und gewährleisten, daß thermische Überlastungen ausgeschlossen werden.
- Der Rundlauf ist auch bei kleinen Drehzahlen auf Grund der hohen Werte von Nut- und Kommutatorstegzahlen ausgezeichnet. Der Ungleichförmigkeitsgrad liegt im ungeregelten Betrieb bei einer mittleren Drehzahl von 50 min^{-1} unter 0,3.
- Die Drehmomentüberlastbarkeit gem. IEC-Publikation 34-1 wird gewährleistet. Darüber hinaus steht eine dynamische Überlastbarkeit des Stromes bzw. Drehmomentes zur Verfügung. Während max. 500 ms kann der 2,8fache Nennstrom zugelassen werden.
- Die Geräusche liegen weit unter den zulässigen Werten für Geräuschklasse 1 nach IEC-Publikation 34-9.
- Die Schwinggüte SGN nach ISO 2373 wird mit großem Abstand eingehalten.
- Die besondere Eignung für den Stromrichterbetrieb bildete entsprechend den Anforderungen der Anwender einen Schwerpunkt bei der Erarbeitung des technischen Konzepts dieser Reihe.
- Die Motoren werden in allen gebräuchlichen Bauformen geliefert. Die Anbaumöglichkeit für Zusatzgruppen ist gegeben.
- Großzügig dimensionierte Bedienöffnungen erleichtern die Wartung des Kommutierungsapparates.
- Der Einbau von Temperaturfühlern in die Ständerwicklungen ist möglich.
- Die ausgereifte Konstruktion gewährleistet eine gute Laufruhe mit niedrigem Geräuschpegel.
- Ausgewählte Ankerkreisvarianten sichern ein breites Anwendungsgebiet bei hohem Standardisierungsgrad.
- Die Dimensionierung der Läuferbauteile läßt eine Stoßbelastung bis zum 2,5fachen Wert des Drehmomentes zu.
- Die Motoren können mit üblichen Stellern betrieben werden.
- Bei Speisung aus vollgesteuerten Drehstrombrückenschaltungen ist der Einsatz zusätzlicher Glättungsdrosseln im allgemeinen nicht notwendig.

Motoren und Generatoren für den Schienenfahrzeugbau

Mit VEM-Gleichstrom-Motoren und VEM-Generator-Anlagen für klimatisierte Reisezugwagen, VEM-Synchrongeneratoren für Stromversorgungsaggregate in Kühlzügen sowie VEM-Fahrmotor und -generator für eine neue Industrielok mit Hybridantrieb unterstreicht der Industriezweig seine besondere Verantwortung für den Schienenfahrzeugbau.

Wesentlich verbesserte Gebrauchswerte

In einem weiteren Komplex stehen neben VEM-Stirnradgetriebemotoren für normale und schwere Einsatzbedingungen VEM-Standardmotoren mit wesentlich verbesserten Gebrauchswerten wie erhöhter Zuverlässigkeit und Lebensdauer (bis 50000 Stunden Wicklungslebensdauer), verbessertem Umwelt- und Energieverhalten (Senkung des Schalleistungspegels und Erhöhung des Wirkungsgrades), optimierter Lagerung (geräuscharmer Lauf bis zu 20000 Stunden) und erweiterten Einsatzmöglichkeiten bei gleichzeitig erweitertem Leistungsbereich (auf 200 kW) im Vordergrund.

Dazu gehören außerdem stellbare Antriebe mit VEM-Einphasen-Wechselstrommotoren, VEM-Drehstrom-Standardmotoren und VEM-Außenläufermotoren im Zusammenhang mit der Demonstration energieökonomischer Vorteile sowie ein Transistor-Frequenzumrichter-Antrieb. Demonstriert werden Antriebsvarianten, die bedeutende Energieeinsparungen ermöglichen.

Spezielle Antriebslösungen

Aus dem Exponatekomplex für spezielle Antriebslösungen ist im Verein mit VEM-Transformatorenschutzrelais, der VEM-Magnetpulverkupplung und Elektrohydraulischen Linearantrieben vor allem ein VEM-Nähmaschinen-Stopp-Motor mit interessanten Vorteilen, wie robuster Ausführung mit wartungsfreiem Kurzschlußläufer-Motor, schleifringloser Ausführung der Kupplungs- und Bremseinheit, maximalem Schwenkbereich usw. hervorzuheben.

Synchrongeneratoren

In einem fünften Komplex werden Typenvertreter der neuen Reihe elektronisch geregelter VEM-Synchrongeneratoren vorgestellt. Zu ihren Vorteilen gehören der verschleiß- und wartungsfreie Betrieb der Erregereinrichtung, höchste Zuverlässigkeit in allen auftretenden Betriebsfällen, guter Wirkungsgrad der Generatoren und daraus resultierender kraftstoffsparender Betrieb der Aggregate, zusätzliche thermische Reserven durch Auslegung in der Wärmebeständigkeitsklasse F, Lebensdauer der Wicklungen bis zu 50000 Betriebsstunden, hohes Aufschaltvermögen und nicht zuletzt Ausführung nach DIN 6231, VDE 0530 bzw. allen einschlägigen IEC-Empfehlungen.

Consulting, Engineering, Lizenzen, Know how

Selbstverständlich gehört auch 1984 zum Exponateprofil des DDR-Elektromaschinenbaus das bewährte Angebot an Consulting, Engineering, Lizenzen und Know how, das wissenschaftlich-technische Ergebnisse und zukunftsorientierte Leistungen von der Ausarbeitung von Studien/Durchführbarkeitsstudien im Partner-Auftrag bis zur Projektierung und Errichtung kompletter Produktionsstätten für die Herstellung elektrischer Maschinen umfaßt.

H. Müller, Dresden EA 1618

Fortsetzung der Messevorschau im Heft 3/84

Die Vorschau zur Leipziger Frühjahrsmesse wird im nächsten Heft mit Beiträgen aus den Kombinaten
- **Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf**
- **Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert"**
- **VEB Kombinat Nachrichtenelektronik**
- **Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxemburg"**
- **VEB Robotron Büromaschinenwerk Sömmerda**

fortgesetzt.

Die Redaktion

ZEITSCHRIFTEN

Zur Senkung der Elektroenergieverluste in Transformatoren der Verteilungsnetze

Landa, M. L.; Melnik, V. A.: Električestvo 1982, 10, S. 10—13

Die Elektroenergieverluste in den Transformatoren betragen 38% von den Gesamtverlusten in allen Netzen der UdSSR. Allein die Netzverluste in den Transformatoren der ländlichen Netze 10/0,4 kV werden mit 100 Millionen Rubel pro Jahr eingeschätzt. Damit hätte eine Senkung der Verluste um einige Prozent einen bemerkbaren volkswirtschaftlichen Effekt.

Die vorgeschlagene Methodik zielt auf einen optimalen Betrieb aller Netztransformatoren hin. Infolge von Fehlern bei der Regimeprognose in der Projektphase arbeitet ein Teil der Transformatoren ständig unterbelastet.

Erstens kann man die überdimensionierten Transformatoren gegen kleinere austauschen, wobei eine Verringerung der Leerlaufverluste erreicht wird. Hierbei verkleinert sich die installierte Transformatorenleistung des Netzes bei gleichzeitiger Erhöhung der lastabhängigen Verluste.

Der zweite Weg sieht eine Umverteilung der Transformatoren nach optimaler Last vor. Der positive Effekt wird infolge einer Senkung der lastabhängigen Verluste bei konstanten Leerlaufverlusten erreicht. Unter Berücksichtigung der mangelnden Reservekapazität an Transformatoren in den Netzbetrieben sind die Möglichkeiten des ersten Weges stark begrenzt. Die zweite Variante wird mit Hilfe von Methoden der mathematischen Programmierung für Netze in der Größenordnung mit 150 bis 300 Trafos unter Beachtung ihrer Belastungsganglinie, Kosten für Montage, Demontage und Transport realisiert. Es wird eine quadratische Matrix der Dimension N der Netzverlustkosten (N Anzahl der Transformatoren mit je einer Last) aufgestellt. Nach dem Kriterium des minimalen Aufwands wird die Aufgabe etappenweise bei Verkleinerung der Ausgangsmatrix auf die Anzahl der wahrscheinlich umzustellenden Transformatoren und endgültiger Nutzenseinschätzung pro Jahr gelöst. Diese Methodik zur Umstellung von Transformatoren wird an einem Beispiel illustriert.

E. Broßmann, Berlin EA 1401

Die Entwicklung faseroptischer Informationsübertragungssysteme

Grodnev, I. I.; Lavrov, V. M.: Električestvo 1983, 1, S. 4—11

In der UdSSR wird der Anwendung faseroptischer Kabel eine große Bedeutung beigemessen, da optische Kabel (OK) gegenüber Kabeln mit metallischen Leitern solche Vorteile wie geringere Signaldämpfung und Störunempfindlichkeit gegenüber äußeren elektromagnetischen Störungen sowie geringere Abmessungen und weniger Masse haben. Verwendung finden OK z. Z. besonders bei der Übertragung breitbandiger Signale (Fernsehen, Videotelefonie, Datenfernübertragung usw.). Der Einsatz in Datenverarbeitungsanlagen und in der Flugtechnik gewinnt an Bedeutung.

Optische Übertragungssysteme arbeiten nach dem Prinzip des Mehrkanalbetriebes, das heißt, es erfolgt eine frequenz- und zeitabhängige Aufteilung der Informationskanäle. Digitale Systeme mit zeitabhängiger Kanaltrennung bei gleichzeitiger Anwendung der Puls-Code-Modulation (PCM) (Modulation der Intensität der Lichtquelle) sind dabei am stärksten verbreitet. Der Geber am Anfang eines solchen Systems wandelt das elektrische Signal in ein optisches um, das heißt, es wird eine optische Trägerfrequenz (Laserlicht) moduliert. Spezielle Codiereinrichtungen und Anpassungsbausteine formieren die geforderte Impulsfolge, passen das Leistungsniveau des elektrischen und des optischen Systemteils an und steuern die Signalflußrichtung sowie die Funktion der einzelnen Systembestandteile. Um die Dämpfung des optischen Signals im Kabel auszugleichen, werden in bestimmten Abständen „Regeneratoren" eingebaut, um das Signal wieder auf das erforderliche Leistungsniveau zu heben. Der Empfänger decodiert das optische Signal und wandelt es wieder in ein elektrisches um.

Die Lichtausbreitung im OK als Oberflächenwelle an der Faseroberfläche erfolgt nur dann, wenn die Dielektrizitätskonstante der Faser größer ist als die der Hülle und wenn der Einfallswinkel der Welle auf die innere Oberfläche größer ist als der Winkel der Totalreflexion. Untersuchungen haben ergeben, daß die Dämpfungsverluste im OK mit größer werdender Wellenlänge kleiner werden. Bei einer Wellenlänge von 0,96 m tritt ein Dämpfungspol auf, der durch die im Lichtleiter enthaltenen Verunreinigungen bedingt ist.

OK bestehen aus Lichtleitern (Fasern), die von einem Schutzmantel eingeschlossen sind. Bevorzugtes Material sind gezogene Quarzfasern. Um das Übertragen von Zugbelastungen zu vermeiden, sind im OK Armierungen vorhanden. Das Übersprechen wird durch die Isolierung jeder Faser mit einer dunklen Außenschicht erreicht. Die Übertragungsqualität sowie die Signalübertragungslänge hängen wesentlich von der Montage des Kabels ab. Insbesondere bei den Steckverbindungen erreicht man hohe Kontaktstabilität, geringe Übergangsverluste und Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Einflüssen. Noch besser lassen sich diese Parameter durch das Verschweißen der Lichtleiter durch Laser erreichen.

In den USA arbeiten z. Z. in mehreren Städten erfolgreiche Telefoniesysteme auf der Basis von OK (bevorzugt werden Übertragungsgeschwindigkeiten von 44,7 Mbit/s und 90 Mbit/s, die Dämpfung liegt bei 6 bis 8 dB/km). In Frankreich wurden etwa 100 km OK installiert (34 bis 140 Mbit/s; 4 bis 7 dB/km, je OK 480 bzw. 1920 Kanäle). In Japan wurde bei einer installierten 100 km langen Leitung erstmals ein sich selbst fokussierender Lichtleiter eingesetzt. In Großbritannien wurden bereits 480 km OK in Betrieb genommen (8 Mbit/s und 140 Mbit/s). Auch eine Unterwasserverbindung von England in die USA mit einer Länge von etwa 6500 km ist geplant. Ebenfalls in Großbritannien testete man die Verlegung von Lichtleitern innerhalb eines Phasenleiters einer 400-kV-Freileitung zum Übertragen von Steuersignalen.

Die relativen Kosten je Kilometer für OK sinken mit der Anzahl der genutzten Kanäle sehr stark. Auch haben sich Übertragungsfrequenzen von 32 Mbit/s als ökonomisch erwiesen. Es wird allgemein eingeschätzt, daß OK künftig einen immer stärkeren Platz in der Signalübertragungstechnik einnehmen werden, da ihr Einsatzspektrum bei relativ geringen Kosten sehr breit ist. Ihre Variabilität gestattet auch die Ablösung vorhandener Systeme mit metallischen Leitern.

Optische Systeme der zweiten Generation realisieren bereits die Signalverstärkung und -umwandlung auf optischem Weg. Optische Systeme der dritten Generation werden die direkte Umwandlung von Sprache in optische Signale ermöglichen, so daß die Signalübertragung ohne elektronische Elemente auskommt.

W. Hladky, Zeuthen EA 1501

Die Elektroenergieeinspeisung für die Kompressorstationen der Erdgastrasse Urengoi — Užgorod

Faibisovič, D. L.; Šurchal, V. V.: Električeskije stancii 1983, 2, S. 41—42

Zur Aufrechterhaltung des Gasdruckes von 7,35 MPa (75 kp/cm²) in der Erdgasleitung Urengoi-Užgorod mit einem Rohrdurchmesser von 1420 mm sind 41 Kompressorstationen vorgesehen. Jede Kompressorstation enthält 6 Kompressoren einer Leistung von je 10 MW, die entweder von elektrischen 10-kV-Synchronmotoren STG-12500 oder Gasturbinen GTK-10-4 angetrieben werden. Nach der Inbetriebnahme der ersten Trasse wird in 3—3,5 Jahren eine Parallelleitung errichtet, wo schon Kompressoren mit Elektroantrieb einer Leistung von 16 und 25 MW Anwendung finden. Gasturbinen sind betriebssicherer, weil sie von keiner äußeren Einspeisung abhängen, und regeln den Gasstrom gleichmäßiger. Dagegen verbrauchen sie sehr viel Erdgas, was besonders in den Mittel- und Endabschnitten der Trasse unökonomisch wird, erfordern einen größeren Reparaturaufwand und erschweren die Arbeitsbedingungen. Die Elektromotoren sparen den wertvollen Rohstoff Erdgas ein, erfordern aber ein gut entwickeltes und stabil arbeitendes Elektroenergienetz, da ja eine Kompressorstation ungefähr 70 MW Leistung braucht. Aus diesen Gesichtspunkten wurden für den Anfangsabschnitt Gasturbinen und im weiteren Elektromotoren ausgewählt. Die konstante Betriebsweise der Kompressoren schafft sehr günstige Bedingungen für die Fahrweise der Kernkraftwerke in den Energiesystemen Mittlere Wolga, Zentrum und Süden (Ukraine). Die gesamte erforderliche elektrische Leistung für beide Gasleitungen wird 1440 MW betragen, wovon allein 1190 MW für die Elektroantriebe benötigt werden.

Die Abdeckung des elektrischen Bedarfs der Kompressorstationen mit Gasturbinen wird über das 110-kV-Netz realisiert und die Einspeisung der Stationen mit Elektroantrieb über die 220-330-500-kV-Netze. In den meisten Fällen wurde die Größe des Anfahrstromes der 12,5 MW Elektromotoren zum entscheidenden Kriterium für die Auslegung der Einspeisung. Die Anfahrparameter solcher leistungsstarker Motoren

erfordern ein leistungsstarkes Elektroenergiesystem und kurze Verbindungen zwischen Verbraucher und Energiequelle. Die größten Probleme traten im Mittelteil der Leitung auf, wo sechs Elektrokompressorstationen hintereinander mit den Stationen von zwei anderen Erdgastrassen räumlich zusammenfielen. Es traten Knotenpunktlasten von 210 und 280 MW auf. Dafür wurden drei 500-kV-Umspannwerke errichtet, von denen zu jeder territorial zusammenfallenden Gruppe Kompressorstationen je zwei 220-kV-Leitungen abgingen. Für den sicheren Betrieb der Erdgastrasse sind Unterbrechungen in der Stromversorgung der Kompressorstationen mit Elektro- sowie Gasturbinenantrieb nicht zulässig.

E. Broßmann, Berlin EA 1498

Ein Gerät mit Impedanzrelais für den Asynchronlaufschutz

Aleksandrov, I. N.; Gerasimov, V. V.; Grigorovitsch, E. I., u.a.: Električeskije stancii 1982, 12, S. 51–54

Alle bekannten Geräte zur Beendigung des Asynchronlaufes von Synchrongeneratoren haben einen oberen Schlupfgrenzwert, bei dem sie nicht mehr ansprechen. Das Versagen des Asynchronlaufschutzes bewirkt eine Zeitverzögerung bis zum Auslösen des Reserveschutzes. Das kann einen Netzzusammenbruch und Zerstörungen von Starkstromanlagen zur Folge haben. Die bekannten Geräte z.B. mit einem Impedanzrelais (KRS-2) und Leistungsrelais (RBM-275) haben einen relativ niedrigen oberen Schlupfgrenzwert, da ihre Auslösezeiten mit der Periodenlänge des Asynchronlaufes vergleichbar sind. Die langjährigen Betriebserfahrungen zeigen, daß der Schlupf schon in den ersten Durchlaufzyklen verhältnismäßig große Werte erreichen kann.

Das vorgestellte Gerät zur Beendigung des Asynchronbetriebes fixiert die gegenseitige Umdrehung der äquivalenten Urspannungen von zwei Energiesystemen unter Beachtung des Vorzeichens vom Schlupf und ist dreistufig ausgeführt. Die erste Stufe fixiert den Asynchronlauf im ersten Zyklus und kontrolliert hierbei die Änderungsgeschwindigkeit des Widerstandes an den Klemmen des Impedanzrelais. Der 2. bis 4. Zyklus wird von der zweiten Stufe fixiert, und die dritte Stufe registriert den stationären eingependelten Asynchronlauf.

Der Komplex ist mit drei Impedanzrelais ausgerüstet, die an die Spannung und den Unterschied der Phasenströme geschaltet werden. Dieses neu entwickelte Gerät zur Beendigung des Asynchronlaufes reagiert noch bei einem oberen Schlupf, der in der zweiten und dritten Stufe 1,5- bis 1,8mal und in der ersten Stufe 2,5- bis 3,6mal höher liegt als bei den bisher bekannten Geräten. Für die Leitung Itat — Nowokusnezk sind vier solcher Geräte zur Vermeidung des Asynchronbetriebes vorgesehen.

E. Broßmann, Berlin EA 1575

BUCHER

Elektrotechnologie

Herausgeber: *H. Conrad; R. Krampitz:* Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 1. Auflage. 396 Seiten, 305 Bilder, 85 Tafeln. Kunstleder 38,— Mark.
Bestell-Nr. 553221 1

Mitte der 70er Jahre gab es umfangreiche Diskussionen um die Notwendigkeit der Schaffung von Literatur auf dem Gebiet der Elektrotechnologie. Die beiden Herausgeber, *Conrad* und *Krampitz*, seit Jahren in der Forschung auf diesem Fachgebiet tätig, haben es verstanden, mit einem Autorenkollektiv ein Buch vorzulegen, das dem Anliegen gerecht wird.

Neben den klassischen Verfahren des Urformens, Umformens, Trennens und Fügens werden typische elektrotechnologische Verfahren behandelt. Diese werden unterteilt in elektrothermische Verfahren, Elektrostrahlverfahren, elektrochemische Verfahren, Elektrostrahlverfahren, elektrochemische Verfahren, elektromechanische Verfahren. Innerhalb der einzelnen Abschnitte werden solche wichtigen Verfahrenszüge, wie Widerstandserwärmung, Induktionserwärmung, elektrische Erwärmung, Lichtbogenerwärmung, funkenerosive Metallbearbeitung behandelt. Unter den Elektrostrahlverfahren sind Plasmastrahlverfahren, Elektronenstrahlverfahren, Laserstrahlverfahren dargestellt. Die elektrochemischen Verfahren umfassen galvanotechnische Metallabscheidung, Elektrophorese, elektrochemische Metallbearbeitung, während die elektromechanischen Verfahren die Ultraschallbearbeitung, die Hochleistungsimpulsbearbeitung und die elektrostatischen Verfahren umfassen. Durch Literatur- und Sachwörterverzeichnis wird das Buch abgeschlossen.

Das Buch erhält dadurch besonderen Wert, daß die Autoren der einzelnen Teilabschnitte international ausgewiesene Fachleute auf ihren jeweiligen Gebieten sind, so daß modernste Erkenntnisse der Forschung und Produktion in die Darstellungen des Buches eingeflossen sind. Die Darstellung selbst ist durch zahlreiche Bilder und Tabellen sowie bildliche Darstellungen aufgelockert. Die Orientierung in den Darlegungen ist so, daß sie anwendungsbereites Wissen vermittelt. Damit wird das vorgelegte Buch, da es immer von den physikalischen Grundlagen bis zur praktischen Anwendung über die Dimensionierung vorgeht, sowohl für Studierende als auch für Praktiker bedeutungsvoll. In der Praxis kann es insbesondere den Technologen und den Projektanten für technologische Verfahrenszüge ebenso dienlich sein wie den Konstrukteuren der einschlägigen Gerätetechnik. Damit ist ein wichtiges Werk vorgelegt worden, das eine Lücke auf dem Buchmarkt schließt. Es ist eine qualitativ anspruchsvolle Darstellung moderner technologischer Verfahren vorgelegt worden, und es bleibt zu hoffen, daß die Ergebnisse dieses Buches auch eine Grundlage dafür bilden, daß in Zukunft in verstärktem Maße klassische Be- und Verarbeitungsverfahren durch moderne elektrotechnologische Verfahren abgelöst werden. Das umfangreiche Literaturverzeichnis gibt hinreichend Auskünfte sowohl über theoretische Grundlagen als auch über Anwendungen, Auskünfte, die insbesondere dann notwendig sind, wenn es um die Realisierung bestimmter neuartiger Vorhaben geht. Das Stichwortverzeichnis gestattet es, rasch spezielle Aussagen zu finden.

Das Buch sollte zu einem festen Handwerkszeug von Leitern und Spezialisten werden.

P.-K. Budig, Karl-Marx-Stadt EA 1608

Lineare Netzwerke

Operatorenrechnung · Leitungstheorie · n-Tor-Theorie · Netzwerksynthese

Von *P. Vielhauer*. Berlin: VEB Verlag Technik 1982. 1. Auflage. 296 Seiten, 252 Bilder, 3 Tafeln. Leinen 23,— Mark.
Bestell-Nr. 553071 8

Analoge Systeme nehmen einen bedeutenden Platz in elektrischen Anlagen ein. Dies wird besonders deutlich, wenn man allein die Rolle und den Umfang elektrischer Leitungen betrachtet, die für die Prozesse der Informations- und Energieübertragung verwendet werden. Besonders das Verhalten elektrischer Leitungen wird in diesem Buch in einer Ausführlichkeit untersucht, die weit über das hinausgeht, was andere Bücher mit verwandter Problematik dazu bringen. Daß der Autor selbst auf diesem Gebiet forscht und die neuesten Ergebnisse im Buch verarbeitet hat, dürfte neben den aktuellen Informationen auch etwas vom Reiz der theoretischen Arbeit auf dieser alten und doch so neuen Disziplin der theoretischen Elektrotechnik vermitteln.

Wer die vermittelten grundlegenden Beziehungen verstanden hat, wird diese auch anzuwenden wissen, z.B. auf das Schaltverhalten von modernen mikroelektronischen Bauelementen in Verbindung mit elektrischen Leitungen. Das prinzipielle Verhalten der homogenen und verlustlosen Leitung als System mit Laufzeit und Reflexion an den Enden wird ausführlich behandelt und damit systematisch der Boden bereitet für die Probleme der verlustbehafteten Leitung, die bis in die letzten Jahre zu wissenschaftlicher Arbeit herausgefordert hat. Der Autor bettet dies ein in das mathematische Handwerkszeug in Gestalt der Operatorenrechnung nach *Mikusinski* und in die *n*-Tor-Theorien, die die Grundlagen für Berechnung elektrischer Zustandsgrößen bei der Zusammenschaltung von Bausteinen zu Systemen beinhaltet. Durch sein ständiges Beziehen auf die Laplace-Transformation versucht der Autor, bestehende Vorbehalte gegen die verwendete Operatorenrechnung nach *Mikusinski* abzubauen und einen ingenieurmäßig akzeptablen Verfahrensweg anzubieten.

Die Behandlung der *n*-Tore mit Hilfe des Wellenkonzeptes wird sicher deshalb verständlicher, weil bei den vorher behandelten Leitungen die dort physikalisch realen Wellenerscheinungen den Boden bereitet haben. Der letzte Abschnitt des Buches ist der Netzwerksynthese gewidmet, ein Gebiet, das durch *G. Fritzsche* und *G. Wunsch* bei uns umfassend vertreten wird. So soll hier der Zugang zu der für die Technik erstrangigen Fragestellung geschaffen werden, wie man Schaltungen mit vorgegebenen elektrischen Eigenschaften entwerfen kann.

Einige wichtige Methoden werden vorgestellt und daran das Verständnis für diese ingenieurmäßige Verfahrensweise entwikkelt. Insgesamt ist zu sagen, daß sich seit 1969 der „*Vielhauer*" seinen Platz erobert hat und sowohl Praktikern als auch Studenten des Elektroingenieurwesens eine gediegene und interessante Auseinandersetzung mit linearen Netzen bieten kann.

G. Helm, Karl-Marx-Stadt EA 1627

Nichtlineare Systeme der Regelungstechnik

Von *K. Göldner; S. Kubik.* Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 2., stark bearbeitete Auflage. 272 Seiten, 252 Bilder, 1 Tafel. Leinen 18,50 Mark.
Bestell-Nr. 553 1921

Im Gegensatz zu linearen Systemen, für die geschlossene und übersichtliche Theorien von hohem Allgemeinheitsgrad bestehen, die eine weitgehend analytische Behandlung bzw. analytische Vorbereitung der Problemlösung erlauben, existieren für die Untersuchung nichtlinearer Systeme wegen der großen Vielfalt von Nichtlinearitäten und nichtlinearen Problemen und der Ungültigkeit des Superpositionsprinzips viele spezielle Methoden für meist stärker eingeschränkte Problemklassen. Der oft hohe Aufwand dieser Verfahren und die beschränkte Aussagefähigkeit der Ergebnisse, zusammen mit der Entwicklung der modernen Rechentechnik, führen dazu, daß derartige Probleme zunehmend und bequemer durch rechnergestützte Untersuchung mittels Simulation behandelt werden. Ein Lehrbuch sollte sich in dieser Situation vor allem auf solche Methoden beschränken, die ein grundsätzliches Verständnis der möglichen linearen Effekte und eine grobe Abschätzung des Systemverhaltens bzw. geeigneter Reglerparameter erlauben. Damit kann dann in einfacheren Fällen ein Entwurf von Hand durchgeführt, in komplizierteren ein brauchbarer Anfangswert für einen rechnergestützten Entwurf erhalten und eine zielstrebige (interaktive) Suche günstiger Systemparameter gewährleistet werden. Das vorliegende Buch wird diesen Überlegungen und Forderungen gerecht, und zwar in der vorliegenden 2. Auflage noch besser als in der 1979 erschienenen 1. Auflage.
Nach einem Einleitungskapitel werden im Kapitel 2 ausführlich Linearisierungsverfahren behandelt, die sowohl eine Linearisierung des gewöhnlich vorliegenden nichtlinearen Systems um einen Arbeitspunkt (Tangentenlinearisierung, statistische Linearisierung) als auch die Analyse periodischer stationärer Prozesse (Dauerschwingungen) ermöglichen (harmonische Linearisierung, Beschreibungsfunktion). Auf diese Weise wird für kleinere Aussteuerungen der Anschluß an die lineare Theorie hergestellt. Ein Teilkapitel ist hier die Vibrationslinearisierung eines Zweipunktgliedes gewidmet.
Ein vertieftes Verständnis nichtlinearer Phänomene und Hinweise zur Bemessung (unstetiger) nichtlinearer Systeme vermittelt die im Kapitel 3 vorgestellte Analyse in der Zustandsebene. Sie setzt allerdings voraus, daß der dynamische lineare Teilprozeß durch einen solchen 2. Ordnung approximiert werden kann. In den Kapiteln 2 und 3 wird weiterhin angenommen, daß genau eine isolierbare (statische) Nichtlinearität vorliegt.
Kapitel 4 behandelt zwei wichtige Methoden zur Stabilitätsanalyse: die direkte Methode von *Ljapunov* (deren Anwendung zum Systementwurf ebenfalls gezeigt wird) und das Kriterium von *Popov*, das die Prüfung für eine Klasse nichtlinearer Kennlinien erlaubt, die durch zwei Geraden durch den Ursprung eingeschachtelt werden können. Die Kapitel 3 und 4 wurden gegenüber der ersten Auflage stark überarbeitet.
Neu aufgenommen wurde ein Kapitel 5, in dem Abschätzformeln zur Bemessung von Zweipunktreglern ohne und mit Rückführung für proportional und integralwirkende Strecken und Methoden zur nichtlinearen Kompensation und zur Strukturumschaltung vorgestellt werden. Dieses Kapitel könnte mit Vorteil weiter ausgebaut werden. Das Buch schließt mit einer neu aufgenommenen Einführung in die Störungsrechnung von *Poincare* und in die Simulation nichtlinearer Systeme. Wenn Simulationsmethoden auch Gegenstand der rechentechnischen Literatur sind, so würden sicher einige weitergehende Ausführungen über die Vorgehensweise bei der Bemessung wichtiger Klassen nichtlinearer Regelungen vom Leser begrüßt werden.
Zahlreiche durchgerechnete Beispiele und eine Vielzahl von Aufgaben mit Angabe der Lösungen sind eine wertvolle Hilfe, um den vermittelten Stoff anwendungsbereit zu machen. Die Lektüre setzt die Kenntnis regelungstechnischer Grundlagen (gewöhnliche Differentialgleichungen und Frequenzgangmethoden) voraus. Die Darstellung zeigt die pädagogische Erfahrung der Autoren, die als Hochschullehrer in Karl-Marx-Stadt bzw. Plzen tätig sind. Das Buch ist insbesondere für Studierende der technischen Kybernetik/Automatisierungstechnik bestimmt. Es dürfte auch für Ingenieure anderer Fachrichtungen nützlich sein, die mit Regelungsproblemen zu tun haben.

K. Reinisch, Ilmenau EA 1612

Batterien

Kontakt und Studium Elektrotechnik. Band 57

Von *Kiehme* u.a. Hannover: expertverlag GmbH. 288 Seiten, 165 Bilder, 33 Tafeln

Dieser 2. überarbeitete und 1983 erschienene Themenband 57 gibt einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand elektrochemischer Stromspeicher, insbesondere über deren anwendungstechnische Besonderheiten. Er behandelt neben den Grundlagen und der Theorie elektrochemischer Stromspeicher die wichtigsten anwendungsbezogenen Hauptgebiete, wie Hochenergie-Batterien, Kraftfahrzeug-Starterbatterien und Antriebsbatterien. Er kann als aktuelles einfach aufgebautes und praxisbezogenes Sammelwerk für Ingenieure und Techniker für die Realisierung elektrotechnischer Anlagen sowie für Entwickler und Betreiber batteriegespeister elektrotechnischer Stromversorgungen, Einzelantriebe und für komplette Fahrzeuge dienen.
Im Bereich „Batterien für Fahrzeuge" werden der verstärkte Einsatz von Elektrofahrzeugen, deren Wirtschaftlichkeit und Reichweite untersucht und die besonderen Anforderungen an die eingesetzten Batterien und Ladegeräte sowie deren erforderliche Wartung beschrieben. Es wird z.B. festgestellt, daß in Zukunft (ab 1990) 1,2-t-Fahrzeuge einen Aktionsradius von 80 km erreichen können. Desgleichen werden in weiteren Abschnitten für batteriegestützte Notstromversorgungsanlagen die möglichen Ladeverfahren und -techniken, Kennlinien und Betriebsarten der Batterien sowie eine notwendige Geräteauswahl genannt und Empfehlungen zur Ausstattung bzw. Wartung von Akkumulatorenräumen gegeben.
Besonders interessant sind die Beschreibungen von neuen Möglichkeiten zur effektiveren Stromversorgung durch den Einsatz von Hochenergie-Batteriesystemen aus Zink/Chlor-, Lithium/Eisensulfid-, Natrium/Schwefel- und Brennstoffzellen sowie von Solarelektroenergiesystemen. Ferner enthält der Themenband 57 einen Abriß über die wichtigsten geltenden VDE- und IEC-Normen für Batterien, Batteriezubehör und Batterieanlagen.

H. Kloust, Berlin EA 1659

Gerätebatterien

Kontakt und Studium Elektrotechnik. Band 104

Von *Kiehme* u.a. Hannover: expertverlag GmbH. 150 Seiten, 93 Bilder, 13 Tafeln.

Dieser 1983 vom „expert-Verlag" neu herausgegebene Themenband 104 war bereits als Abschnitt in der 1. Ausgabe des Bandes 57 enthalten und gibt jetzt — erweitert für Ingenieure und Techniker aus den Entwicklungsbereichen der Elektronik, Uhren- und weiteren Geräteindustrien sowie der Nachrichtentechnik — einen allgemein verständlichen praxisbezogenen Überblick über den aktuellen Stand von Primär-(Trocken)-Batterien und wartungsfreien Sekundärbatterien.
Es werden im Themenband die Systemeigenschaften, wie Energiedichte, Belastungsverhalten, Selbstentladung und Lagerfähigkeit von Primärbatterien sowie deren Bauformen, Konstruktionen und Preisrelationen beschrieben. Zu den gasdichten Nickel/Cadmium- und wartungsfreien Bleibatterien werden darüber hinaus, z.B. deren typisches Zyklen-(Lade-Entlade-)Verhalten, der Erhaltungsladebetrieb, die mögliche Gasentwicklung und Zellenverschluß sowie weitere Entwicklungstendenzen erläutert.
In weiteren Abschnitten werden Projektierungs-, Benutzungs- und Wartungshinweise für alle Arten von Gerätebatterien gegeben und ein Überblick über die in den wichtigsten nach DIN- bzw. IEC-Vorschriften genormten Typen und Kenngrößen der Batterien geschaffen.
In einem neuen Abschnitt wird der Aufbau der Stromversorgung für elektronische Uhren beschrieben, und dabei werden Ausführungen über einzuhaltende Umweltbedingungen, Kapazität, konstante Spannung während der mehrjährigen Laufzeit sowie weitere fertigungsbedingte Einflüsse genannt.

H. Kloust, Berlin EA 1658

Dokumentation

Kriesel, W.: **Stand und Tendenzen des Einsatzes der Mikrorechentechnik in Automatisierungsanlagen**

ELEKTRIE, Berlin (1984) 2, S. 45 – 49, 7 Bilder, 1 Tafel, 13 Lit.

Der Stand der Technik wird hinsichtlich möglicher Ansätze zu künftigen Weiterentwicklungen dargestellt. Für den weiteren Fortschritt sind Einflüsse der Mikro- und Optoelektronik mindestens gleichrangig mit technologischen Veränderungen zu kalkulieren. Hierzu wird ein Systemvorschlag für künftige Automatisierungssysteme unterbreitet mit den Hauptkomponenten: intelligente, buskoppelbare Meß- und Stelleinrichtungen; bitserielles Feldbussystem; intelligente, buskoppelbare Leittechnik einschließlich Wartenrechnertechnik

---

Nikoloff, I.; Schiewer M.; Bielicke H.: **Strom- und Spannungsverhältnisse bei räumlich integrierten Anordnungen von diskreten Bauelementepaaren „Thyristor – Diode" und „Thyristor – Thyristor", Teil 2 und Schluß**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, S. 50 – 52, 8 Bilder, 1 Gl.

Es werden die rechnerisch und experimentell gewonnenen Strom- und Spannungsverläufe diskutiert sowie die problemspezifische Meßtechnik kurz beschrieben. Es wird nachgewiesen, daß unter Beachtung bestimmter Grundsätze eine Freihaltezeit erreicht werden kann, die nur unwesentlich unter dem für rückwärtsleitende Thyristoren geltenden Wert liegt.

Amft, D.: **Zur Spannungsfestigkeit von Deckschichten auf Aluminiumdrähten**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, S. 52 – 56, 8 Bilder, 2 Tafeln, 3 Gln., 13 Lit.

An Drähten wurden in Normalatmosphäre gebildete Deckschichten auf ihre Dicke und Spannungsfestigkeit untersucht. Dabei wurden unter der Isolation handelsüblicher Al-Drähte und Leitungen Deckschichten um 5 bis 10 nm und Durchbruchsfeldstärken für die Deckschicht um $10^7 \frac{V}{cm}$ bei hochohmigem und $4 \cdot 10^6 \frac{V}{cm}$ bei niederohmigem Prüfkreis gefunden. Diese Werte liegen günstiger, als allgemein angenommen wird.

Rothardt, L.: **Stochastische Modellierung des Schaltlichtbogens**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, S. 57 – 59, 2 Bilder, 15 Gln., 12 Lit.

Nach kritischer Sichtung der Literatur zur stochastischen Modellierung des Schaltlichtbogens wird ein physikalisch begründeter Vorschlag für eine stochastische Differentialgleichung des Schaltlichtbogens (im Sinne des bb-Modells) mit nur einer stochastisch schwankenden Größe diskutiert.

Biesenack, H.; Richter, M.; Schulze, W.: **Zum Berechnen von Wicklungsfaktoren für Wechselstromwicklungen**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, S. 60 – 61, 6 Bilder, 2 Gln., 1 Lit.

Das im vorliegenden Beitrag beschriebene Verfahren zur Bestimmung der Wicklungsfaktoren von Wechselstromwicklungen mit ganzer Lochzahl je Pol und Strang hebt die Bedingung der Wicklungssymmetrie auf, läßt eine unsymmetrische Wicklungsverteilung bezogen auf eine gedachte Mittellinie innerhalb einer Wicklungszone zu und ist damit mit Ausnahme von Bruchlochwicklungen universell anwendbar.

Schwarz, J.; Petzold, K.; Otto, F.; Neumann, H.: **Messung und Ortung von Teilentladungen an Baugruppen der SF_6-isolierten Schaltanlage GSAS 1-123**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, S. 62 – 65, 6 Bilder, 2 Tafeln, 12 Lit.

Bei der Werksend- und Vor-Ort-Prüfung SF_6-isolierter Schaltanlagen sind Teilentladungsmessungen (TE-Messungen) unerläßlich. Es werden elektrische und akustische Vergleichsmessungen beschrieben und die Leistungsfähigkeit beider Verfahren bewertet. Daraus lassen sich Rückschlüsse für die jeweils günstigen Einsatzbedingungen ziehen.

Документация

Кризель, В.: **Состояние и тенденции применения техники микро-ЭВМ в установках автоматизации**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 2, стр. 45—49, 7 рис., 1 табл., 13 лит.

Рассматривается состояние техники в части возможных исходных точек для дальнейшего усовершенствования. При дальнейшем прогрессе необходимо учитывать влияния микро- и оптоэлектроники на одинаковом уровне с технологическими изменениями.
Представляется системное решение для будущих систем автоматизации со следующими основными составляющими: „разумными" связываемыми шинами измерительными и установочными устройствами; последовательной по битам матричной системой шин; „разумной" связываемой шинами управляющей аппаратурой включая применение вычислительных средств на диспетчерском пункте.

Николофф, И.; Шивер, М.; Билике, Х.: **Соотношения тока и напряжения при пространственно интегрированных расположениях пар дискретных конструктивных элементов „тиристор – диод" и „тиристор – тиристор", часть 2 и окончание**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 2, стр. 50—52, 8 рис., 1 уравн.

Обсуждаются характеристика тока и напряжения, полученные расчетным и экспериментальным образом, коротко описывается специфичная для данной проблемы измерительная аппаратура. Доказывается, что при соблюдении некоторых принципов может достигаться продолжительность восстановления, лежащая незначительно ниже значения, действительного для обратных тиристоров.

Амфт, Д.: **По электрической прочности покрытий — в первую очередь на алюминиевых проводах**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984), 2, стр. 52—56, 8 рис., 2 табл., 3 уравн., 13 лит.

Исследованы относительно их толщины и электрической прочности покрытия, образованные на проводах в нормальной атмосфере. При этом были найдены под изоляцией покупных алюминиевых проводов и проволок покрытия порядка 5 ... 10 нм и замерены значения напряженности поля пробоя ок. $10^7 \frac{В}{см}$ в случае высокоомной испытательной цепи, а $4 \cdot 10^6 \frac{В}{см}$ — в случае низкоомной испытательной цепи. Указанные значения лучше чем в общем предполагается.

Ротхардт, Л.: **Стохастическое моделирование дуги отключения**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 2, стр. 57—59, 2 рис., 15 уравн., 12 лит.

После критического изучения литературы по вопросу стохастического моделирования дуги отключения обсуждается физически обоснованное предложение стохастического дифференциального уравнения дуги отключения (в смысле модели bb) только с одной стохастически колеблющейся величиной.

Бизенак, Х.; Рихтер, М.; Шульце, В.: **О расчете обмоточных коэффициентов для обмоток переменного тока**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 2, стр. 60—61, 6 рис., 2 уравн., 1 лит.

Описанный в данной статье способ определения обмоточных коэффициентов для обмоток переменного тока с целым числом пазов на полюс и фазу отменяет условие симметричности обмотки, допускает несимметричное распределение обмоток относительно условной средней линии внутри зоны обмотки и, тем самым, может применяться универсально, за исключением обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Шварц, Й.; Петцольд, К.; Отто, Ф.; Нойманн, Х.: **Измерение и локализация частичных разрядов на узлах коммутационной установки GSAS 1-123 с тиогексафторидной изоляцией**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 2, стр. 62—65, 6 рис., 2 табл., 12 лит.

Измерения частичных разрядов являются неотъемлимой частью окончательных заводских испытаний и испытаний на месте установки коммутационных установок с тиогексафторидной изоляцией. Описываются электрические и акустические сравнительные измерения, оценивается производительность обоих способов. Из этого вытекает возможность делать заключение о наиболее благоприятных для данного случая условиях применения.

Kriesel, W.: **State and Trends of the Application of the Microelectronics in Automation Plants**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, pp, 45 – 49, 7 Figs., 1 Table, 13 Refs.

The state of the art is represented with regard to possible setups of future further developments. In calculating further progress influences of the micro- and optoelectronics are at least of the same value as technological changes. To this end a system proposal for future automation systems is made with the main components: intelligent, bus-coupled measuring and regulating equipments; bit-series field bus system; intelligent, bus-coupled conduction techniques including maintenance computer techniques.

Nikoloff, J.; Schiewer, M.; Bielicke, H.: **Current and Voltage Relations in Three-Dimensionally Integrated Arrangements of Discrete Component Pairs "Thyristor – Diode" and "Thyristor – Thyristor". Part 2 and Conclusion**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, pp. 50 – 52, 8 Figs., 1 Equation

The mathematically and experimentally reached current and voltage curves are discussed and the measuring techniques, specifically to this problem, is briefly described. It is proved, that with consideration of determined fundamentals a free time may be reached, which is only unessentially below the value, holding for backward-acting thyristors.

Amft, D.: **To the Electric Strength of Topping Layers on Aluminium Wires**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, pp. 52 – 56, 8 Figs., 2 Tables, 3 Equations, 13 Refs.

Topping layers, made on wires in normal atmosphere, were studied with regard to the thickness and the electric strength. Thereby below the insulation of commercial Al-wires and conductors topping layers of 5 to 10 nm and breakdown field strengthes for the topping layer of 10^7 V cm^{-1} in the high-resistive testing circuit and of $4 \cdot 10^6$ V cm^{-1} in the low-resistive one were measured. These values are more favourable than supposed in general.

Rothardt, L.: **Stochastic Modelling of the Switching Arc**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, pp. 57 – 59, 2 Figs., 15 Equations, 12 Refs.

After critically reviewing the literature of the stochastic modelling of the switching arc a physically founded proposal for a stochastic differential equation of the switching arc (in the sense of the bb-model) with only one stochastically fluctuating size is discussed.

Biesenack, H.; Richter, M.; Schulze, W.: **To the Computing of Winding Factors for A. C. Windings**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, pp. 60 – 61, 6 Figs., 2 Equations, 1 Ref.

The method, dexcribed in this contribution, to the determination of the winding factors of a.c. windings with whole slot number per pole and phase-belt compensates the condition of the winding symmetry, allows an unsymmetric winding distribution, relating to a thought centre line within a winding zone, and is by this way universally applicable with exception of fractional-slot windings.

Schwarz, I.; Petzold, K.; Otto, F.; Neumann, H.: **Measurement and Locating of Partial Discharges in Components of the SF_6-Insulated Switch Plant GSAS 1-123**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, pp. 62 – 65, 6 Figs., 2 Tables, 12 Refs.

In the works final testing and the at-place-testing of SF_6-insulated switch plants partial discharge measurements (TE-measurements) are essentially. Electric and acoustic comparison measurements are described and the efficiencies of both methods are evaluated. From this conclusions to the in each case favourable application conditions may be drawn.

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl. oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dipl.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Dipl.-Ing. *Wolfgang Rönspieß*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandpreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ústrédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohardská 41, 12505 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tiače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publictions Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei si Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucuresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

Angewandte Anlagenautomatisierung

Regelung thermischer Prozesse

Von Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Teichmann. 268 Seiten, 303 Bilder, 19 Tafeln, Leinen, 28,—M, Ausland 38,—M.

Bestellangaben: 5531913/Teichmann, Anlagen

Ein notwendiges Buch besonders in Hinblick auf die rationelle Nutzung von Primärenergieträgern wie Kohle, Öl oder Gas.
Aus dem Inhalt: Überblick zu ausgewählten Grundlagen der Regelungs-, Meß- und Stelltechnik · Regelung von Dampferzeugungsanlagen · Regelung von Dampfturbinenanlagen · Regelung von Wärmekraftwerken · Übersicht zur Regelung von Heizungs- und Klimaanlagen.

Projektierung von Automatisierungsanlagen

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Prof. Dr. sc. techn. Rainer Müller. 2., stark bearbeitete Auflage. 352 Seiten, 221 Bilder, Leinen, 30,—M, Ausland 38,—M.

Bestellangaben: 5531067/Müller, Projektierung

Die Auflage wurde um Aufgaben mit Lösungen erweitert.

Einführung in die Automatisierungstechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. Heinz Töpfer und Prof. Dr.-Ing. Siegfried Rudert. 5., durchgesehene Auflage. 284 Seiten, 235 Bilder, 24 Tafeln, Kunstleder, 19,—M.

Bestellangaben: 5526049/Töpfer, Einf. Automatis.

Für Studenten, Ingenieure, Naturwissenschaftler, Ökonomen.

Arbeitsbuch Automatisierungstechnik

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Heinz Töpfer und Prof. Dr.-Ing. Siegfried Rudert. 3., bearbeitete Auflage. 164 Seiten, 124 Bilder, Broschur, 10,—M, Ausland 12,—M.

Bestellangaben: 5531948/Töpfer, Arbeitsbuch

Aktualisiert durch Aufgaben aus dem Bereich der Industrieroboter-steuerungen.

In der Reihe Automatisierungstechnik (RA):

Abschätzverfahren in der Automatisierungstechnik

Von Eugen-Georg Woschni. RA 198. 76 Seiten, 36 Bilder, 16 Tafeln, Broschur, 4,80 M, Ausland 8,—M.

Bestellangaben: 5530988/Woschni, Verfahren

Eine Zusammenstellung von Methoden, an vielen Beispielen erläutert.

Automatisierungstechnik

Gegenwart und Zukunft

Von Heinz Töpfer und Werner Kriesel. RA 200. 80 Seiten, 30 Bilder, 4 Tafeln, Broschur, 4,80 M, Ausland 8,—M.

Bestellangaben: 5531008/Töpfer, Automatisierung

Ein umfassender Überblick auch über Anwendungsmöglichkeiten in der Klein-, Mittel- und Großautomatisierung. Besonders herausgestellt wurde der Fortschritt durch die Mikroelektronik.

Wörterbücher für Wissenschaft und Technik:

Korrosion und Korrosionsschutz

Russisch-Deutsch und Deutsch-Russisch

Herausgegeben von der Technischen Universität Dresden, Sektion Angewandte Sprachwissenschaft. Zusammengestellt von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Dipl.-Sprachlehrer Helmut Gross. 260 Seiten, Kunstleder, 24,—M.

Bestellangaben: 5531104/Gross, Wb. Korrosion R-D

Mit je etwa 8000 Wortstellen.

Eisenbahn

Englisch-Deutsch-Französisch-Russisch

Herausgegeben von Doz. Dr. sc. techn. Adolf Dannehl. Zusammengestellt von einem Autorenkollektiv. 400 Seiten, Kunstleder, 45,—M, Ausland 65,—M.

Bestellangaben: 5532326/Wb. Eisenbahn

Mit etwa 13000 Wortstellen aus allen Bereichen des Eisenbahnwesens: Betrieb und Verkehr, Fahrzeuge, Sicherungs- und Fernmeldewesen, Bahnanlagen.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

0730 2 877 027 465
KOMB KERAM WERKE
8012 7001 0136 PE

ISSN 0013–5399
ELEKTRIE · Berlin 38 (1984) 2 · S. 41–80

Theoretische Grundlagen der automatischen Steuerung

Unter diesem Haupttitel erscheint eine Folge von Lehr- und Arbeitsbüchern für Studenten aller technischen und naturwissenschaftlichen Fachrichtungen an technischen Hochschulen, Universitäten und Ingenieurhochschulen sowie für Ingenieure und Naturwissenschaftler in der Praxis.

Kürzlich erschienen:

Nichtlineare Systeme der Regelungstechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. Klaus Göldner
und Prof. Dipl.-Ing. Stanislav Kubik DrSc.
2., stark bearbeitete Auflage. 272 Seiten, 232 Bilder, 1 Tafel, 18,50 M, Ausland 26,—M.

Bestellangaben: 5531921/Göldner, Nichtl. Regelungen.

In diesem Buch werden die wichtigsten Berechnungsverfahren nichtlinearer Systeme behandelt: die Methoden der Tangenten-, harmonischen und statistischen Linearisierung, die Analyse von Systemen in der Zustandsebene, die Theorien von Ljapunow und Popow. Dabei stehen vereinfachte Methoden, die dem Interesse des Praktikers dienen, im Vordergrund.
Die vorliegende Auflage wurde gründlich überarbeitet und ergänzt. Die Darstellung der Grundlagen wurde ausgebaut. Neu aufgenommen wurde ein Abschnitt über praktische Verfahren der Regelung nichtlinearer Systeme sowie ein Überblick über die Verfahren der analogen und digitalen Simulation.

Bereits lieferbar:

Kybernetische Grundlagen und Beschreibung kontinuierlicher Systeme

Von Prof. Dr. sc. techn. Karl Reinisch.
384 Seiten, 26,—M, Ausland 36,—M.

Bestellangaben: 5521432/Reinisch, Grundlagen.

In die Grundbegriffe und mathematischen Methoden der Steuerungs- und Regelungstechnik einführendes Lehrbuch. Farbige Hervorhebung der wichtigsten Definitionen und Sätze sowie der wichtigsten Gleichungen, Bilder und Tafeln ermöglicht auch das Benutzen als Nachschlagewerk.

Kontinuierliche Systeme

Arbeitsbuch: Aufgaben und Anwendungen.

Von Doz. Dr.-Ing. Josef Sponer.
200 Seiten, 14,—M, Ausland 20,—M.

Bestellangaben: 5524932/Sponer, Systeme Arb'buch.

94 Übungskomplexe, gegliedert in Aufgabe, Lösungshinweis, Ergebnis und Lösungsweg.

Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme

Von Prof. Dr. sc. techn. Karl Reinisch.
2., bearbeitete Auflage. 420 Seiten, 32,—M, Ausland 44,—M.

Bestellangaben: 5531075/Reinisch, Kont. Steuerung.

Die Bearbeitung betrifft insbesondere die Stabilisier- und Erkennbarkeit und einige Ergebnisse zur synthetischen Störaufschaltung und -unterdrückung. Neu aufgenommen wurde auch ein Überblick über Verfahren zum Entwurf dezentraler Regelungen.

Beim Verlag bereits vergriffen:

Kontinuierliche Steuerungen

Arbeitsbuch: Aufgaben und Anwendungen.

Von Doz. Dr.-Ing. Josef Sponer.

Jedes Buch in Ganzleinen gebunden.
Auslieferung durch den Fachbuchhandel.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN